

KAJIAN KENYAMANAN RUANG KULIAH TN II JURUSAN TEKNIK FISIKA UNIVERSITAS GADJAH MADA (UGM) DITINJAU DARI ASPEK TERMAL DAN POLA ALIRAN UDARA MENGGUNAKAN FLUENT

Oleh:

Sunanto¹, Karsid²

^{1,2}Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara Politeknik Negeri Indramayu
E-Mail: ¹sunanto08@gmail.com, ²karsids@yahoo.co.uk

ABSTRAK

Temperatur dan aliran udara merupakan faktor penting dalam bangunan karena berhubungan erat dengan kesehatan dan kenyamanan suatu bangunan, maka dari itu perancangan bangunan harus dilakukan secara cermat untuk mendapatkan aliran udara yang bersih, sehat, dan nyaman disesuaikan dengan kebutuhan ruangan. Untuk melakukan perancangan bangunan yang baik perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pola aliran udara dan kecepatannya. Pada penelitian ini dikaji model ruang kuliah TN II JTF UGM. Model rumah tersebut mempunyai panjang 1030 cm, lebar 790 cm dan tinggi 330 cm. Jendela berukuran 100 cm x 100 cm, sedangkan pintu berukuran 100 cm x 100 cm. Jendela diasumsikan terbuka lebar, pintu selalu terbuka. Penelitian ini diawali dengan penggambaran geometris model menggunakan program Gambit 2.2.30 dan dilanjutkan dengan pengujian model menggunakan program Fluent 6.2.16. Pengujian dilakukan dengan memberikan sepuluh variasi kecepatan aliran udara bebas yakni dari 1,3 m/s, 3,61 m/s dan 5,91 m/s, dua variasi arah aliran udara bebas dan dua variasi temperatur udara yakni dari 21,5⁰C dan 27,65⁰C. Standar kecepatan nyaman dalam ruangan yang dipakai adalah $0.15 < V < 0.25$ m/s dan standar temperatur udara nyaman adalah $20,5^{\circ}\text{C} < T < 27,1^{\circ}\text{C}$. Variasi kecepatan dan temperatur menghasilkan daerah nyaman dan daerah tidak nyaman dalam ruangan. Variasi arah aliran udara menghasilkan pola aliran udara dan distribusi temperature yang berbeda di dalam ruangan.

Kata Kunci : Kenyamanan udara, Gambit, Fluent, Simulasi Numerik, Distribusi kecepatan dan temperatur.

ABSTRACT

Temperature and air circulation is an important factor in a building since it is closely related to health comfort. Therefore, the design of a building should be carry out precisely in getting a clean, healthy and comfortable air circulation in accordance to the requirement of the room. In order to carried out a good building designing, a research was needed to understand temperature distribution, the pattern of air flow and its velocity. In this research, a Classroom of TN II JTF UGM. This classroom have 1030 cm length, 790 cm of width, and 330 cm of height. The size of the windows is 100 x 100 cm and place 1m from the floor. The size of the doors is 140 x 210 cm. The windows are assumed to be widely open, the door always opened. The researched begins with geometric modeling of the model by using Gambit 2.2.30 and continued with model testing using Fluent 6.2.16. The test is carried out by giving three velocity variation of free air flowing i.e.: from 1.3 m/s, 3.61 m/s and 5.92 m/s, two direction variation of open air flowing and two variation temperature of free air i.e.: 21.5⁰C and 27.65⁰C. The standard of comfortable air velocity used in the room is $0.15 < V < 0.25$ m/s, The standard of comfortable temperature used in the room is 20.5⁰C and 27.1⁰C. The air velocity and air temperature variation created comfort area and non comfort area in the room. The direction circulation of air variation created the different pattern air circulation in the room.

Key words: air flowing, Gambit, Fluent, velocity and temperature distribution.

I. PENDAHULUAN

Kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Oleh karena itu kenyamanan tidak dapat diwakili dengan sebuah angka tunggal. Kita menilai kondisi lingkungan berdasarkan rangsangan yang masuk ke diri kita melalui seluruh indra yang kita miliki. Suara, cahaya, bau, suhu, dan rangsangan lainnya ditangkap sekaligus kemudian diolah di otak. Kemudian otak akan memberikan penilaian relatif apakah suatu kondisi itu nyaman atau tidak. Setiap rumah tinggal seharusnya mempunyai

minimal satu ruangan yang nyaman sehingga dapat digunakan untuk beristirahat total, terutama apabila sedang sakit [1].

Ventilasi merupakan sistem pergantian udara dari ruangan ke luar ruangan dan atau sebaliknya. Fungsi ventilasi adalah untuk memenuhi kebutuhan kesehatan dan kenyamanan. Kebutuhan kesehatan meliputi penyediaan oksigen untuk pernafasan, pencegahan konsentrasi yang tinggi dari gas karbondioksida, asap dan gas-gas lain yang berbahaya, pencegahan konsentrasi dari bakteri-bakteri dan peniadaan bau. Kebutuhan

kenyamanan termal dan kelembaban meliputi pemindahan panas keluar ruangan, membantu penguapan keringat, dan pendinginan struktur bangunan. Fungsi ventilasi untuk memenuhi kebutuhan kesehatan tidak tergantung dari keadaan cuaca, sedangkan ventilasi untuk kenyamanan termal dan kelembaban sangat tergantung dari cuaca. Hal ini sangat mempengaruhi perancangan lubang ventilasi yang bukaannya dapat diatur sesuai dengan kondisi di luar ruangan untuk membantu memenuhi kebutuhan kenyamanan termal dan kelembaban. Kedua kebutuhan ventilasi tersebut memerlukan laju massa udara yang berbeda [2].

Sebuah penelitian mengenai aliran udara di sekitar bangunan telah dilakukan oleh Departemen Teknik Aeronotika *University of Texas*. Penelitian ini menunjukkan bahwa area bertekanan rendah dapat dimanfaatkan untuk menghisap udara ke dalam bangunan secara cepat. Selain itu perubahan dari arah aliran udara mampu menyerap energi dari aliran tersebut sehingga memperlambat kecepatan aliran udara. Apabila sebuah penghalang dipasang, maka aliran udara akan menyebar dan membentuk turbulensi. Udara akan mengalir cepat kembali saat aliran udara lurus kembali.

Imawan melakukan kajian ventilasi dalam bangunan sederhana dengan variasi posisi bidang bukaan. Variasi posisi bidang bukaan yang dilakukan adalah variasi horisontal. Model bangunan sederhana yang digunakan adalah bangunan dengan satu ruangan dan dua buah ventilasi (bidang bukaan) yang terletak pada dua sisi dinding yang berhadapan. Variasi kecepatan aliran udara masukan yang diberikan terdiri dari 10 kecepatan dari 1 m/s sampai dengan 10 m/s dengan selang kecepatan 1 m/s tiap variasi. Penelitian ini memperlihatkan bahwa penempatan lubang ventilasi yang berbeda menghasilkan pola aliran udara yang berbeda pula [3].

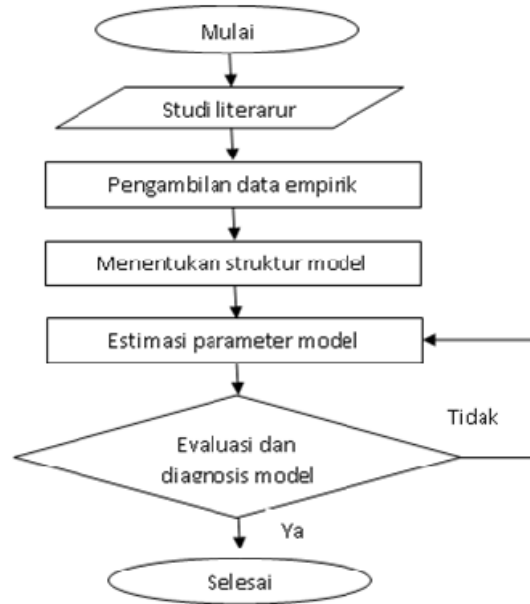
Nugroho melakukan penelitian tentang pengaruh perletakan penyekat ruang terhadap kecepatan udara di ruang kantor, dimana dari penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa untuk mendapatkan kecepatan pergerakan udara yang optimal pada ruang kantor ini, posisi *inlet-outlet* harus satu sumbu dan penyekat ruang ada di dekat *outlet* tanpa menghalangi aliran udara yang mengalir antara *inlet-outlet* [4].

Winata (2007) juga melakukan penelitian pola aliran udara pada sebuah rumah tipe 36. Penelitian tersebut menggunakan variasi arah dan besar kecepatan aliran udara. Penelitian yang dilakukan tersebut disimulasikan dalam program Fluent 6.2.16 dimana rumah terlebih dahulu dimodelkan pada program Gambit 2.2..30. Dimana dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa variasi kecepatan tidak menghasilkan pola aliran udara yang amat berbeda. Sedangkan variasi arah aliran udara bebas menghasilkan pola aliran yang berbeda. Pola aliran udara yang dihasilkan amat mempengaruhi pola pembentukan daerah nyaman. Selain itu penelitian tersebut menemukan bahwa daerah neutral terbentuk pada bagian tengah bidang bukaan [5].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi kecepatan dan temperatur untuk kenyamanan udara di dalam ruangan.

II. METODE PENELITIAN

Secara garis tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut :



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1 Pemodelan Aliran Turbulen dengan K-Epsilon Standar

Pemodelan dari aliran turbulen melibatkan dua persamaan dasar yaitu persamaan konservasi massa dan momentum. Pada kondisi turbulen, variabel kecepatan, *u* pada persamaan Navier-Stokes diasumsikan terdiri atas komponen rata-rata dan komponen fluktuatif.

$$\bar{u}_i = \bar{u}_i + u'_i \dots \dots \dots (1)$$

Dengan \bar{u}_i dan u' masing-masing adalah komponen kecepatan rata-rata dan fluktuatif. Persamaan konservasi massa dan momentum pada aliran turbulen masing-masing dapat dituliskan,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \dots \dots \dots (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \\ & - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{\rho u'_i u'_j}) \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

Dapat dilihat bahwa komponen fluktuatif u'_i menghasilkan sebuah suku $-\overline{\rho u'_i u'_j}$, yang dapat ditulis dalam sebuah relasi dengan gradien kecepatan rata-rata melalui persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} -\overline{\rho u'_i u'_j} &= \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \\ &- \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

Sebuah variabel yang muncul dalam persamaan ini viskositas turbulen, μ_t , dapat dicari melalui hubungan antara energi kinetik turbulen, k , dengan laju disipasi, ε

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \dots \dots \dots (5)$$

dengan C_μ adalah konstanta senilai 0,09.

Sedang persamaan untuk masing-masing k dan ε dapat dituliskan

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \\ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \\ - \rho \overline{u_i' u_j'} \frac{u_j}{x_i} - \rho \varepsilon \end{aligned} \quad (6)$$

dan

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \\ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \\ - C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \left(\rho \overline{u_i' u_j'} \frac{u_j}{x_i} \right) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (7)$$

dengan $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ adalah konstanta, masing-masing senilai 1,44 dan 1,92. $\sigma_k = 1$ dan $\sigma_\varepsilon = 1,3$ adalah bilangan Prandtl untuk masing-masing k dan ε (Fluent Inc, 2003).

2.2 Sumber Kalor Ruangan

Sumber kalor internal :

- ✓ kalor disipatif dari manusia (jumlah, aktivitas)
- ✓ Kalor dari peralatan listrik

Sumber kalor eksternal:

- ✓ radiasi surya : jendela, dinding, atap
- ✓ Transfer kalor
 - o Transmisi: dinding, jendela, atap, lantai
 - o Ventilasi: suplai, cp, ΔT
 - o Infiltrasi : dinding, jendela, atap, lantai

2.3 Pakaian, Aktivitas Dan Metabolisme Tubuh

Ukuran nilai isolasi termal pakaian dinyatakan dengan satuan "Clo", dimana

- 1 Clo = 0.155 m²K/W
- 0 Clo = orang tanpa pakaian (naked person)
- 1 Clo = orang dengan jas bisnis tipikal

Isolai keseluruhan dapat dihitung dengan menjumlahkan masing masing nilai Clo untuk setiap jenis pakaian yang dikenakan. Area permukaan rerata untuk tubuh manusia adalah 1.95 m².

Daya metabolisme (Met) sering digunakan untuk ukuran laju produksi kalor manusia. Daya metabolisme atau laju produksi kalor untuk orang duduk rileks adalah 1 Met = 58,2 W, Aktivitas dengan berdiri (medium) setara dengan 2 Met (118 W) [1].

2.4 Indeks Kenyamanan Termal Dengan Model PMV (Predicted mean vote)

Model keadaan *steady* (Predicted Mean Vote – PMV) dikembangkan oleh Fanger yang mengasumsikan bahwa badan manusia berada dalam kesetimbangan dengan penyimpanan kalor yang dapat diabaikan. Laju pembangkitan kalor = laju rugi kalor

$$\begin{aligned} M - W = Q_{sk} + Q_{res} \\ M - W = (C + R + E_{sk}) + Q_{res} \end{aligned} \quad (8)$$

dimana:

- M : laju produksi energi metabolisme [W/m²]
- W : laju kerja mekanik [W/m²]
- Q_{res} : laju total rugi kalor respirasi
- C : laju rugi kalor konveksi
- R : laju rugi kalor radiasi lewat kulit
- E_{sk} : laju rugi kalor evaporatif lewat kulit

Fanger mengembangkan model kenyamanan termal dari korelasi data dan variabel fisiologis.

$$PMV = (0,303 \exp(-0,036 M) + 0,028) L$$

Dimana :

$$\begin{aligned} L = M - W - \left[3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} (T_{cl}^4 - T_{mr}^4) + \right. \\ \left. f_{cl} h_c (T_{cl} - T_{at}) + C_1 + C_2 \right] \end{aligned} \quad (9)$$

dimana apabila angka PMV +3: panas, +2: hangat, +1: hangat sedikit, 0: netral, -1: sejuk sedikit, -2: sejuk, -3: dingin.

2.5 Pemodelan Transfer Kalor

Perhitungan akan pengaruh panas yang terjadi dalam kasus yang dimodelkan melibatkan beberapa persamaan. Persamaan energi yang digunakan dituliskan sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot \left(\frac{k_t}{c_p} \nabla H \right) + S_k \quad (10)$$

H adalah entalpi total yang didefinisikan:

$$H = \sum_j Y_j H_j \quad (11)$$

dengan Y_j adalah fraksi massa dari spesies j dan

$$H_j = \int_{T_{ref,j}}^T c_{p,j} dT + h_j^0(T_{ref,j}) \quad (12)$$

$h_j^0(T_{ref,j})$ adalah entalpi pembentukan dari spesies j . k_t pada suku pertama sisi kanan persamaan merupakan konduktivitas termal turbulen ditulis dalam persamaan

$$k_t = \frac{c_p \mu_t}{Pr_t} \quad (13)$$

Bilangan Prandtl, Pr_t , memiliki nilai 0,85. Suku kedua pada sisi kanan persamaan energi adalah pembangkitan panas akibat radiasi dituliskan dalam persamaan

$$-\nabla q_r = -4\pi \left(a \frac{\sigma T^4}{\pi} + E_p \right) + (a + a_p) G \quad (14)$$

Dengan a adalah koefisien absorpsi dan a_p koefisien absorpsi partikel, σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann,

E_p adalah emisi dari partikel, dan G adalah total energi radiasi masuk dalam tiap satuan waktu dan luas yang dtulis dalam persamaan :

$$G = \int_{\Omega=4\pi} Id\Omega \quad (15)$$

Dengan I adalah intensitas radiasi dan Ω merupakan solid angle. E_p dan a_p didapatkan melalui persamaan berikut

$$E_p = \lim_{v \rightarrow 0} \sum_{n=1}^N \epsilon_{pn} A_{pn} \frac{\sigma T_{pn}^4}{\pi V} \quad (16)$$

$$a_p = \lim_{v \rightarrow 0} \sum_{n=1}^N \epsilon_{pn} \frac{A_{pn}}{V} \quad (17)$$

ϵ_{pn} , A_{pn} , dan T_{pn} adalah emisivitas, area proyeksi, dan temperatur dari partikel A_{pn} ditentukan dalam persamaan

$$A_{pn} = \frac{\pi d_{pn}^2}{4} \quad (18)$$

Dengan d_{pn} adalah diameter dari partikel (*Fluent Inc.*, 2003).

2.6 ALAT PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

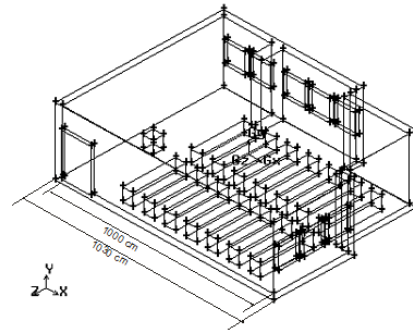
1. Seperangkat komputer dengan spesifikasi ; Prosesor Intel Pentium IV 3.0 GHz, RAM 512 Gb.
2. Program Gambit 2.2.30.
3. Program Fluent 6.2.16.

2.7 Tata Laksana Penelitian

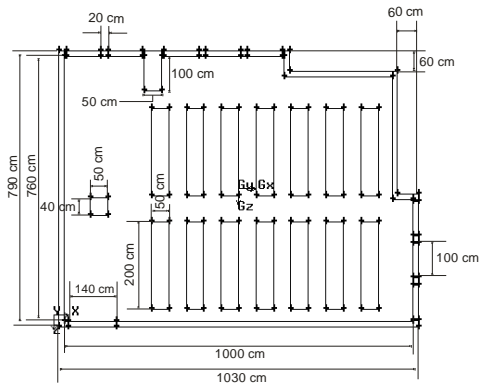
2.7.1 Penggambaran Model Ruang TN II JTF UGM Dan Penggambaran Orang Yang Terdapat Dalam Ruang Menggunakan Gambit 2.2.30

Model ruang kuliah TN II JTF UGM adalah berbentuk persegi panjang yang dapat dilihat pada Gambar IV.1, Gambar IV.2, Gambar IV.3 dan Gambar IV.4. Ruang tersebut memiliki 8 buah jendela dan 1 buah pintu. Adapun dimensi dari ruang TN II JTF UGM (searah sumbu x) x (searah sumbu y) x (searah sumbu z) adalah :

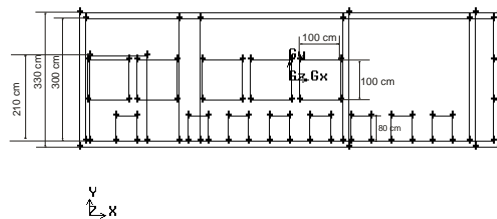
1. Panjang x lebar x tinggi sisi luar : 1030 cm x 330 x 790 cm.
2. Panjang x lebar x tinggi sisi dalam : 1000 cm x 330 cm x 760 cm.
3. Ketebalan Tembok : 15 cm.
4. Jendela : 100 cm x 100 cm x 15 cm.
5. Pintu : 140 cm x 210 cm.
6. Manusia : 50 cm x 100 cm x 40 cm.



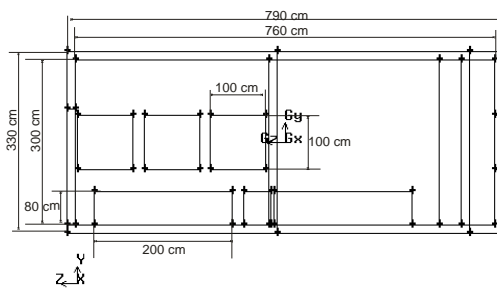
Gambar 2. Ruang Kuliah TN II JTF UGM Tampak 3 Dimensi



Gambar 3. Ruang Kuliah TN II JTF UGM Tampak Atas

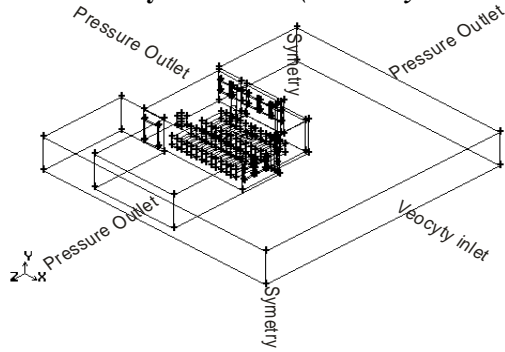


Gambar 4. Ruang Kuliah TN II JTF UGM Tampak Dari Timur



Gambar 5. Ruang Kuliah TN II JTF UGM Tampak Dari Utara

2.7.2 Penentuan syarat batas (*Boundary condition*)



Gambar 6. Penentuan Syarat Batas Pada Aliran Udara Dari Arah Utara

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

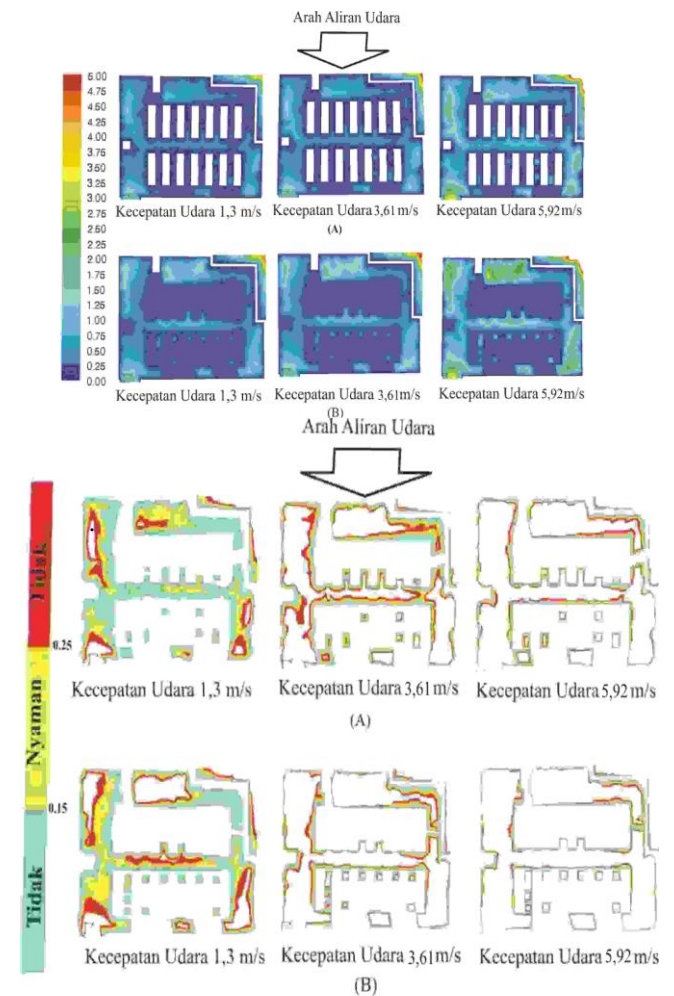
Kenyamanan ruang yang ditinjau dari aspek termal dan aliran udara mempunyai kriteria. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) kriteria tersebut adalah:

1. Kecepatan aliran udara dalam batas kenyamanan apabila berada pada kecepatan antara 0,15 m/s dan 0,25 m/s.
2. Temperatur udara dalam batas kenyamanan apabila berada pada temperatur antara 20,5⁰C dan 27⁰C.
3. Penggambaran daerah nyaman ditunjukkan pada ketinggian 100 cm dari lantai dan ketinggian pada 50 cm dari lantai dimana pada ketinggian tersebut tepat berada di atas kepala manusia dan di tengah ketinggian manusia ketika duduk.
4. Variasi kecepatan udara berdasarkan kecepatan maksimal 5,92 m/s, rata-rata 3,61 m/s dan minimal 1,3 m/s yang bertiup di D.I. Yogyakarta. Variasi suhu berdasarkan suhu minimal 21,5⁰C dan suhu rata-rata 27,65 m/s yang bertiup di D.I. Yogyakarta (Lampiran 1).
5. Pemetaan daerah nyaman, baik temperatur maupun kecepatan aliran udara ditunjukkan dengan kontur temperatur dan kontur kecepatan aliran udara.
6. Pola liran udara dan distribusi temperatur ditunjukkan oleh *path line*
7. Nilai indeks kenyamanan termal berdasarkan *Predicted Mean Vote* dalam batas nyaman adalah $-2 \leq PMV \leq 0$.

3.1 Pemetaan Daerah Nyaman Berdasarkan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara pada ruang TN II JTF UGM karena variasi kecepatan aliran udara dari arah barat dapat dilihat pada Gambar 7. Semakin besar kecepatan aliran udara yang masuk maka kecepatan aliran udara di dalam ruang semakin besar. Kecepatan di sekitar deretan manusia lebih kecil jika dibandingkan dengan daerah lainnya, dari gambar dapat dilihat di sekitar deretan manusia kecepatan udara sangat kecil hampir mendekati 0 m/s sampai 0,25 m/s, hal ini disebabkan oleh jarak manusia terlalu rapat. Kecepatan udara di dekat jendela dan pintu lebih besar jika dibandingkan dengan daerah lain di dalam ruang tersebut, hal ini disebabkan oleh

aliran udara tidak mendapatkan gangguan seperti pada daerah di sekitar deretan manusia.



Gambar 7. Kontur Kecepatan Udara Dengan Aliran udara Dari Bara (A). Ketinggian 50 cm Dari Lantai (B). Ketinggian 100 cm Dari Lantai

Kontur kecepatan aliran udara dipetakan untuk menentukan daerah nyaman di dalam ruang. Gambar V.2 menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara pada batas nyaman berwarna kuning, sedangkan warna yang lainnya menunjukkan bahwa kecepatan udara tersebut tidak nyaman. Ketika kecepatan aliran udara masukan 1.3 m/s, terdapat daerah nyaman di dalam ruang. Masukan udara dinaikan menjadi 3,61 m/s maka di dalam ruang terdapat daerah nyaman yang lebih sempit daripada 1,3 m/s. Ketika kecepatan aliran udara 5,92 m/s, daerah nyaman yang terbentuk paling sempit dibandingkan dengan masukan kecepatan aliran udara yang sebelumnya. Kecepatan aliran udara di sekitar deretan manusia berada dalam kondisi tidak nyaman, hal ini disebabkan aliran udara mendapatkan gangguan dari deretan manusia dimana jarak antara manusia terlalu rapat sehingga kecepatan aliran udara hampir mendekati 0 m/s.

3.2 Pemetaan Daerah Nyaman Berdasarkan Distribusi Temperatur

Distribusi temperatur di dalam ruang dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam ruang.

Dari Gambar V.4 dapat dilihat bahwa variasi kecepatan aliran udara mempunyai pengaruh yang tidak signifikan terhadap distribusi temperatur dalam ruang. Temperatur di dalam ruang lebih besar daripada temperatur udara masukan, kenaikan temperatur di dalam ruang tersebut disebabkan oleh adanya manusia di dalam ruang yang memberikan penambahan panas. Pada masukan temperatur udara 21,5°C, temperatur udara di dalam ruang mengalami kenaikan mencapai 24°C. Pada masukan temperatur udara sebesar 27,65°C

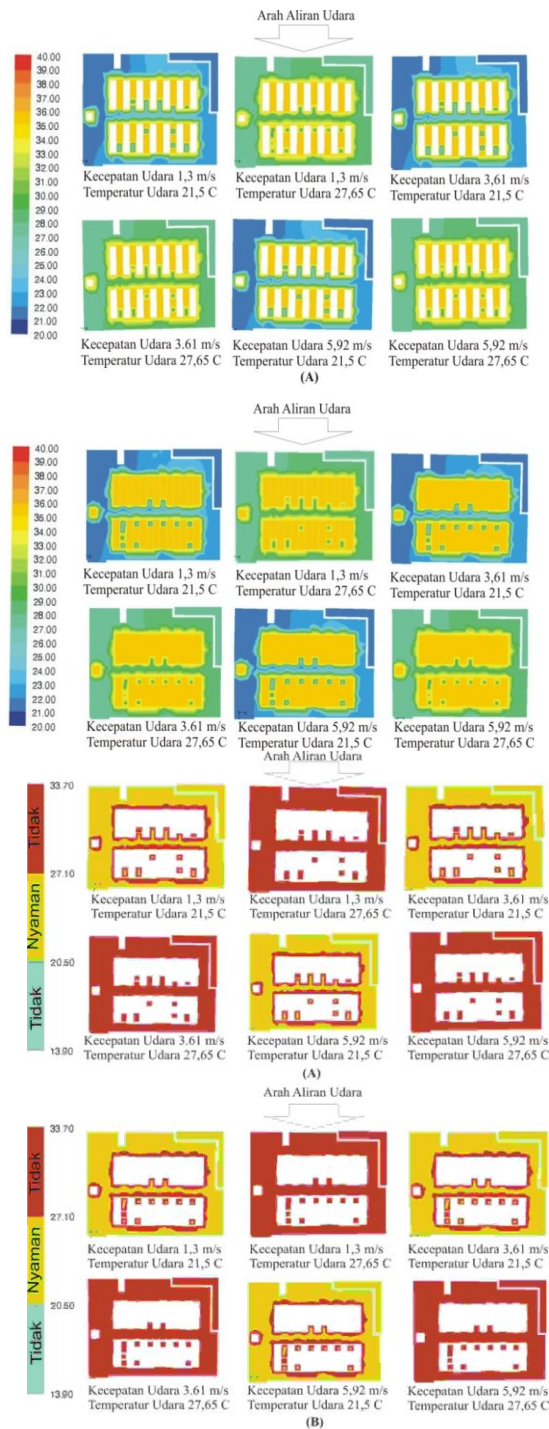
- (A). Ketinggian 50 cm Dari Lantai
- (B). Ketinggian 100 cm Dari Lantai

Untuk mendapatkan daerah nyaman dalam ruang yang berkaitan dengan temperatur udara maka kontur udara perlu di petakan. Pemetaan daerah nyaman temperatur udara dapat dilihat pada Gambar 8. Temperatur udara masih dalam batas nyaman ditunjukkan oleh warna kuning, sedangkan warna yang lainnya menunjukkan temperatur tersebut tidak nyaman. Daerah nyaman terbentuk ketika masukan temperatur udara 21,5°C, tetapi karena ruang kuliah digunakan antara pukul 06.00 WIB dan 17.30 WIB kondisi temperatur tersebut jarang terjadi. Pada masukan temperatur udara 27,65°C di dalam ruang tidak terdapat daerah nyaman, hal ini disebabkan oleh temperatur yang masuk ke dalam ruang merupakan temperatur udara yang tidak nyaman, ditambah lagi adanya 71 manusia yang memberikan penambahan panas di dalam ruang.

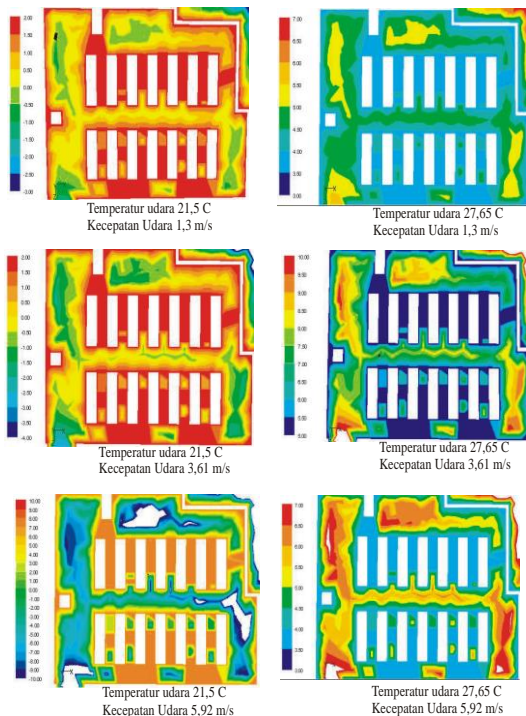
Pada kondisi ruang dipergunakan untuk kegiatan belajar-mengajar yaitu temperatur udara tersebut terjadi. Daerah disekitar deretan manusia, temperatur udara menjadi tidak nyaman. Hal ini disebabkan oleh manusia yang memberikan tambahan panas terhadap ruang sehingga temperatur udara menjadi tinggi. Pada masukan temperatur udara 27,65°C ke dalam ruang maka tidak ada daerah nyaman di dalam ruang tersebut. Tidak adanya daerah nyaman dalam ruang tersebut disebabkan oleh temperatur udara yang masuk ke dalam ruang berada di luar batas temperatur udara nyaman, ditambah lagi dengan adanya manusia yang memberikan penambahan panas ke dalam ruang. Temperatur udara di sekitar deretan orang menjadi sangat tidak nyaman karena temperatur di sekitar daerah tersebut menjadi tinggi karena jarak antara manusia yang terlalu rapat.

3.3 Indeks Kenyamanan Termal Berdasarkan PMV

Gambar 9 menunjukkan kontur indeks kenyamanan termal hasil simulasi aliran udara dari arah barat. Diasumsikan bahwa penghuni dalam ruang kuliah TN-II sedang duduk diam (daya metabolisme sebesar 58,2 W/m²) dan berpakaian kemeja lengan panjang dan celana panjang dengan jumlah nilai total *Clo* sebesar 1,0. Kenyamanan dapat dirasakan oleh orang yang berada pada TN II tercapai pada temperatur udara 21,5°C. Sedangkan pada masukan temperatur udara 27,65 m/s tidak tercapai kondisi nyaman.



Gambar 8. Kontur Temperatur Udara Dengan Aliran Udara Dari Barat



Gambar 9. Kontur Indeks Kenyamanan Termal Hasil Simulasi Aliran Udara dari Arah Barat Pada Ketinggian 50 cm Dari lantai

IV. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa Ruang TN II JTF UGM berada pada kondisi yang tidak nyaman baik berdasarkan kecepatan aliran udara maupun distribusi temperatur udara.

Kondisi tidak nyaman pada ruang TN II JTF disebabkan oleh jumlah manusia yang terlalu banyak sehingga jarak antara manusia terlalu rapat. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran udara terganggu oleh terlalu rapatnya jarak antara manusia dan temperatur udara menjadi tinggi karena manusia memberikan penambahan panas di dalam ruang. Kondisi tidak nyaman pada ruang TN II JTF juga disebabkan oleh adanya daerah mati di dalam ruang.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sihana, Dr-Ing, 2004, *Analisis Sistem Termal*, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [2] Satwiko P, 2004, *Fisika Bangunan I*, Andi Offset, Yogyakarta. Sihana, Dr-Ing, 2004, *Analisis Sistem Termal*, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [3] Imawan, D., 2006, *Kajian Ventilasi Alamiyah Dalam Bangunan Sederhana Dengan Variasi Posisi Bidang Bukaan Menggunakan Fluent*, Skripsi Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4] Nugroho, Muhammad Siam, 2001, *Pengaruh Perletakan Penyekat Ruang Terhadap Kecepatan Udara Di Ruang Kantor*, Jurnal Teknik Gelagar Vol.17, No.01, Hal.64-70, Surakarta.
- [5] Winata, Kurnia Harta, 2007, *Kajian Pola Aliran Udara Pada Rumah Tipe 36 Berisi Tiga Ruang Dengan Variasi Arah angin Menggunakan Fluent*, Skripsi Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [6] Anonim, 2001, *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi Dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung*, Standar Nasional Indonesia (SNI).
- [7] Badan Informasi Daerah Propinsi DIY, 2002, www.pemda-diy.go.id, 28/09/06.
- [8] Frank M. White, 1994, *Fluids Mechanics*, McGraw-Hill.
- [9] Lupy, B.S, 2005, *Kajian Ventilator Non Mekanik Menggunakan Fluent Dengan Memperhitungkan Faktor Aliran Udara Bebas*, Skripsi Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [10] Mangunwijaya, Y.B., Dipl., Ing., 1997, *Pengantar Fisika Bangunan*, Cetakan Kelima, Djambatan, Jakarta.
- [11] Aronin, Jeffrey Ellis, 1953, *Climate and Architecture*, Reinhold.