

## Pengaruh Kecepatan Dan Arah Aliran Udara Terhadap Kondisi Udara Dalam Ruang Pada Sistem Ventilasi Alami

Francisca Gayuh Utami Dewi

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia

[E-mail: franciscadewi@ub.ac.id](mailto:franciscadewi@ub.ac.id)

### Abstract

*Natural ventilation should be regarded to maintain room air condition with respect to health and satisfaction of people in the room. Outside air flow into the room, so air exchanges occur. Principally natural air exchange is caused by the different between pressure inside and outside the room, as a result of thermal and velocity factors. The study is conducted experimentally. The influence of air velocity and direction of air to the room air condition are studied by observation on a model placed in a wind tunnel. The model was scaled 1 : 10 to the prototype. The study was conducted using velocity of flow air variation (1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s and 7 m/s) and the angle direction of flow ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$  and  $15^\circ$ ). The result of the study shows that velocity and direction of air flow determine air condition in the room indicated by air circulation, heat energy exhausted by the circulated air, and ventilation coefficient. The higher heat absorption was occurred for velocity of 7 m/s and direction of flow  $15^\circ$ ,  $10^\circ$  and  $0^\circ$  subsequently.*

**Keywords:** *natural ventilation, air flow velocity, direction of flow.*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Udara merupakan elemen yang sangat penting bagi kehidupan manusia, tanpa udara manusia tidak dapat bertahan hidup karena manusia butuh bernafas. Sekali bernafas, manusia memerlukan menghirup kemudian menghembuskan 0,5 liter udara. Umumnya manusia bernafas 20 kali setiap menit, ini berarti udara yang dibutuhkan sebanyak 10 liter setiap menitnya. Pada saat manusia bernafas ada udara segar yang masuk dan ada udara yang dikeluarkan dari paru-paru. Komposisi gas-gas yang ada dalam udara segar yang dihirup saat bernafas terdiri dari 79,01% Nitrogen, 20,95% Oksigen dan 0,04% Karbondioksida. Sedangkan pada saat manusia menghembuskan udara keluar, udara yang dihembuskan tersebut memiliki komposisi 74,6% Nitrogen, 16,4% Oksigen dan 4,0% Karbondioksida [1].

Di sisi lain manusia menghabiskan hampir 90% waktunya di dalam ruangan, baik itu di dalam ruangan kantor ataupun rumah. Adanya sistem ventilasi pada ruangan akan memudahkan pergerakan udara, dari luar ruangan masuk ke dalam

ruangan, sehingga ada pergantian udara. Kurangnya ventilasi akan menyebabkan kurangnya oksigen di dalam ruangan yang berarti kadar karbon dioksida yang bersifat racun bagi penghuninya meningkat. Sistem sirkulasi udara yang banyak digunakan oleh masyarakat adalah ventilasi alami. Dengan ventilasi alami, pemasukkan dan pengeluaran udara berjalan secara alamiah tanpa menggunakan bantuan alat mekanis, sehingga banyak tergantung pada kecepatan angin, dan perbedaan tekanan udara serta temperatur di luar dan di dalam ruangan.

Sistem ventilasi alami tersebut harus mampu mengkondisikan parameter udara dalam ruangan sesuai dengan yang dikehendaki penghuni, sementara kondisi udara luar sangat mempengaruhi hasil sistem pengkondisian yang dimaksudkan. Parameter di dalam ruangan yang mempengaruhi desain sistem adalah jumlah sumber panas dan penguapan, jumlah dan kelakuan penghuni, luas lantai, volume ruangan dan lubang laluan ventilasi. Parameter udara dalam ruangan yang diperhatikan adalah distribusi suhu, kelembaban dan kecepatan udara. Kecepatan udara yang dipilih berhubungan

erat dengan jumlah sirkulasi udara dalam memenuhi kenyamanan penghuni. Sedangkan parameter udara luar yang mempengaruhi sistem adalah suhu, kelembaban, arah dan kecepatan.

Pengkondisian kelembaban udara adalah sangat sulit dilakukan untuk sistem sirkulasi alamiah, sehingga pada sistem sirkulasi alamiah parameter yang diperhatikan adalah distribusi suhu dan kecepatan udara dalam ruangan. Pada akhirnya jumlah udara yang disirkulasikan apakah memenuhi kebutuhan minimal dalam mengatasi bangkitan kalor dan keperluan pernafasan bagi penghuni.

Pada penelitian ini, udara di dalam suatu ruangan dikondisikan dengan mengatur kecepatan udara yang melewati ventilasi. Alat yang digunakan adalah *wind tunnel* yang pada lorongnya diberi sekat dengan sudut tertentu, dan suatu ruangan yang dimodelkan dengan skala 1 : 10, yang didalamnya terdapat lampu untuk membangkitkan kalor yang setara dengan panas yang dilepaskan penghuni ruangan, ditempatkan menempel pada lorong *wind tunnel*. Fungsi dari sekat tersebut adalah untuk mengatur arah aliran udara yang melewati ventilasi. Kemudian udara dialirkan melewati saluran *wind tunnel* sehingga sebagian akan masuk melalui lubang ventilasi dan bersirkulasi di dalam ruangan.

**Tinjauan Pustaka**

Ventilasi udara didefinisikan sebagai bukaan atau lubang udara dimana terjadi pemasukkan dan pengeluaran udara dalam ruangan. Ventilasi dibutuhkan untuk menurunkan konsentrasi kontaminan dalam udara dengan memasukkan udara segar dan mengeluarkan udara terkontaminan. Ventilasi juga memberikan penyegaran udara pada suhu dan kelembaban tertentu untuk kenyamanan [2].

Ada dua cara membangun sistem ventilasi, yaitu dengan ventilasi alamiah melalui bukaan seperti jendela, atau dengan ventilasi mekanis yang menggunakan alat mekanik untuk mengontrol jumlah udara yang mengalir masuk dan keluar ruangan.

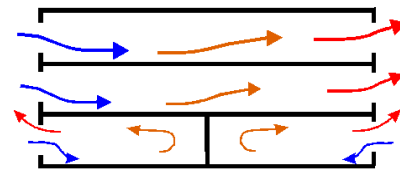
**1. Ventilasi Alamiah**

Pada ventilasi alamiah pemasukkan dan pengeluaran udara dalam ruangan terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara luar dan dalam.

**a. Ventilasi Horizontal**

Aliran udara terjadi bila terdapat perbedaan suhu udara luar dan dalam ruangan, atau antar ruang dalam bangunan. Ada dua macam penempatan lubang ventilasi untuk pengarah aliran udara dari lubang masuk ke lubang keluar, yaitu:

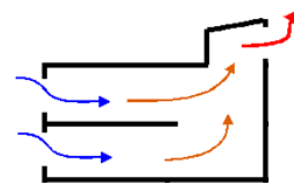
- Ventilasi silang (*cross ventilation*) yaitu lubang ventilasi terdapat pada dua sisi ruangan.
- Ventilasi satu sisi (*single sided ventilation*) yaitu lubang ventilasi hanya pada satu sisi ruangan.



Gambar 1. Ventilasi silang dan ventilasi satu sisi [3]

**b. Ventilasi vertikal**

Aliran udara terjadi karena perbedaan berat jenis lapisan-lapisan udara luar dan dalam bangunan. Udara dengan berat jenis rendah mengalir ke atas, sedang udara dingin dengan berat jenis tinggi mengalir ke bawah (efek cerobong).



Gambar 2. Ventilasi vertikal

**2. Ventilasi Mekanis**

Pada ventilasi mekanis pergantian udara terjadi dengan bantuan alat mekanik seperti kipas angin (*fan*) dan penyedot udara (*blower*). Cara ini digunakan apabila cara alamiah tidak mencukupi, misalnya karena ukuran ruangan yang luas.

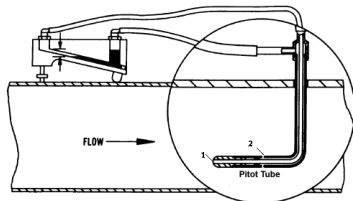
$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (1)$$

dengan:

- p = tekanan fluida (N/m<sup>2</sup>)
- v = kecepatan fluida (m/s)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)
- g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$h$  = ketinggian (m)

Pipa pitot (*pitot tube*) digunakan untuk mengukur kecepatan fluida di suatu titik pada fluida tersebut. Pipa pitot merupakan pipa terbuka kecil dimana permukaannya bersentuhan langsung dengan aliran fluida.



Gambar 3 Pipa pitot [2]

Untuk mengukur kecepatan fluida seperti pada gambar 2.3, persamaan Bernoulli dapat diaplikasikan pada titik 1 dan 2.

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$v_1 = 0$  dan  $h_1 = h_2$ , maka:

$$p_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

$$v_2 = \sqrt{2g \frac{(p_1 - p_2)}{\rho g}}$$

atau

$$v_2 = c \sqrt{2gh} \tag{2}$$

dengan:

$c$  = konstanta pipa pitot (0,85)

Aliran fluida mengalami perubahan pola aliran dari laminar kemudian transisi hingga pada akhirnya menjadi turbulen. Kondisi aliran laminar atau turbulen dapat ditentukan oleh besarnya bilangan Reynold yang dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$Re = \frac{vL}{\nu} = \frac{vL\rho}{\mu} \tag{3}$$

dengan:

$Re$  = bilangan Reynold

$L$  = panjang karakteristik (m)

$\nu$  = viskositas kinematik ( $m^2/s$ )

$\mu$  = viskositas dinamik (kg m/s)

Untuk mendesain sistem ventilasi alamiah membutuhkan identifikasi arah angin dan posisi bukaan pada bangunan.

Parameter penting dalam mendesain ventilasi alamiah adalah jumlah udara yang disirkulasikan masuk dan keluar ruangan. Udara yang bersirkulasi tersebut dibutuhkan untuk memindahkan panas dari suatu ruangan yang ditempati. Metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah udara yang disirkulasikan adalah pembangkitan panas atau penyerapan panas, dengan persamaan:

$$Q = \frac{H}{c_p \cdot \rho \cdot (T_i - T_o)} \tag{4}$$

dengan:

$H$  = pembangkitan panas atau penyerapan panas (W)

$Q$  = jumlah udara yang disirkulasikan (l/s)

$c_p$  = kapasitas panas jenis (J/kg K)

$\rho$  = berat jenis udara ( $kg/m^3$ )

$T_i$  = temperatur udara ruangan (K)

$T_o$  = temperatur udara luar (K)

Jumlah udara yang disirkulasikan dapat dinyatakan sebagai perubahan udara per jam atau *air change rate* dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = K \cdot A \cdot V \tag{5}$$

dengan:

$Q$  = volume aliran udara ( $m^3/h$ )

$K$  = koefisien ventilasi

$A$  = luas ventilasi ( $m^2$ )

$V$  = kecepatan udara (m/h)

Koefisien ventilasi tergantung pada sudut angin dan ukuran ventilasi, berkisar 0,4 untuk angin dengan sudut datang  $45^\circ$  kemudian naik menjadi 0,8 untuk angin yang dengan sudut  $90^\circ$ .

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental, dimana data diambil dari hasil pengamatan dilapangan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Variabel bebas

Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah kecepatan udara, yaitu 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s dan 7 m/s.

2. Variabel terikat

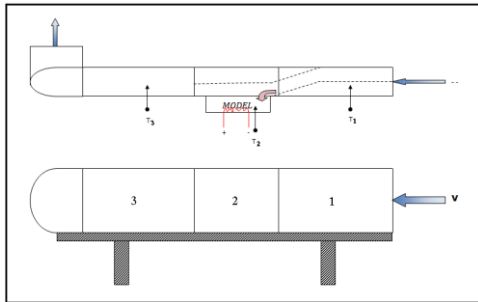
Variabel terikat yang diamati adalah jumlah udara yang disirkulasikan, besar

energi yang diserap udara dan koefisien ventilasi.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah arah aliran udara dengan sudut 0°, 10° dan 15°.

Susunan alat dalam penelitian ini adalah seperti pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 4. Instalasi penelitian

Keterangan gambar:

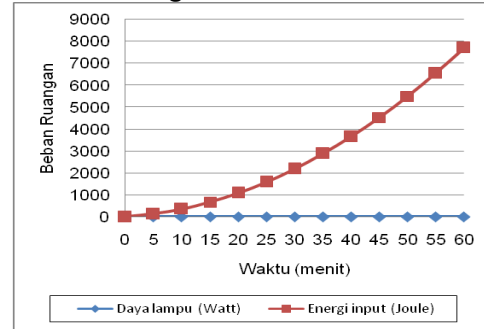
- 1 = saluran udara masuk model uji
- 2 = model uji
- 3 = saluran udara keluar model uji
- 4 = blower
- T<sub>1</sub> = temperatur udara sebelum masuk model uji
- T<sub>2</sub> = temperatur udara dalam model uji
- T<sub>3</sub> = temperatur udara keluar model uji

Urutan pelaksanaan dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan dan disusun sesuai dengan gambar instalasi yang direncanakan.
2. Lampu dinyalakan tanpa adanya aliran udara, catat kondisi awal dalam ruangan/model, waktu penyalaan hingga terdapat perbedaan suhu ruangan.
3. Blower dihidupkan hingga terdapat aliran udara dalam *wind tunnel*, kemudian catat semua kondisi, lama pengamatan sama dengan waktu untuk pengamatan tanpa adanya aliran udara.
4. Ulangi untuk kecepatan dan sudut datang yang lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

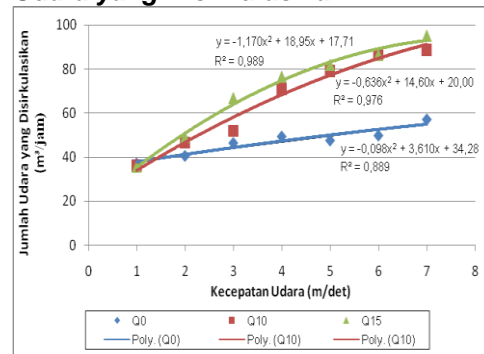
Beban Ruangan



Gambar 5. Hubungan antara beban ruangan dan waktu

Pada gambar 5 diatas menunjukkan bahwa kalor pembebanan merupakan grafik kenaikan jumlah kalor yang diterima ruangan dalam kurun waktu satu jam. Jumlah kalor yang diterima ruangan bertambah dengan bertambahnya waktu. Hal tersebut dikarenakan kalor yang diterima ruangan merupakan perkalian dari daya pemanasan dan waktu.

Udara yang Disirkulasikan



Gambar 6. Hubungan antara Jumlah Udara yang Disirkulasikan terhadap Kecepatan untuk Berbagai Arah Aliran Udara

Grafik pada gambar 6 menunjukkan bahwa jumlah sirkulasi udara dalam ruangan berubah dengan adanya perubahan kecepatan aliran udara yang melintasi model, semakin besar kecepatan aliran udara semakin besar pula jumlah udara yang disirkulasikan dalam ruangan. Semakin besar kecepatan udara dalam lorong *wind tunnel* berarti udara memiliki energi yang semakin besar sehingga lebih mampu untuk membangkitkan sirkulasi udara dalam ruangan. Di samping itu menurut hukum Bernoulli semakin besar

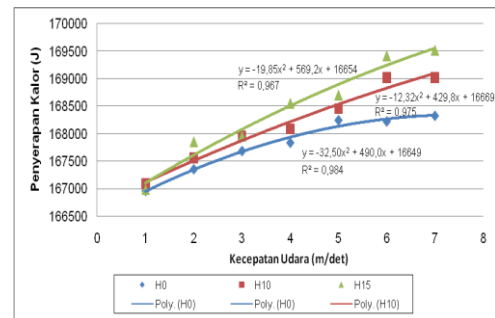
kecepatan udara dalam lorong *wind tunnel* menyebabkan tekanan udara dalam lorong *wind tunnel* semakin kecil, dalam hal yang demikian semakin menimbulkan perbedaan tekanan udara dalam ruangan model dan tekanan udara dalam lorong *wind tunnel* semakin besar yang selanjutnya mempengaruhi besarnya jumlah udara yang disirkulasikan dalam ruangan. Dari gambar tersebut juga dapat dinyatakan bahwa semakin besar sudut arah udara dalam lorong *wind tunnel* semakin besar jumlah udara yang disirkulasikan dalam ruangan. Hal ini disebabkan arah aliran udara dalam lorong *wind tunnel* dengan sudut yang lebih besar lebih mengarah ke lubang laluan atau ventilasi, sehingga mendorong udara yang ada dalam ruangan untuk bergerak menuju keluar.

Selanjutnya dapat dinyatakan bahwa Jumlah udara yang disirkulasikan  $Q$  merupakan fungsi dari kecepatan aliran udara di luar model (ruangan)  $V$  yang dapat dihitung sebagai berikut:

- Untuk arah aliran udara bersudut  $0^\circ$ ,  $Q = -0,098V^2 + 3,61 V + 34,28$
- Untuk arah aliran udara bersudut  $10^\circ$ ,  $Q = -0,636V^2 + 14,6 V + 20$
- Untuk arah aliran udara bersudut  $15^\circ$ ,  $Q = -1,17V^2 + 18,95 V + 17,71$

**Penyerapan Kalor**

Dari grafik gambar 7 dapat dinyatakan bahwa jumlah kalor yang diserap udara yang disirkulasikan meningkat dengan adanya peningkatan kecepatan dan arah aliran udara. Hal ini dikarenakan kenaikan jumlah udara yang disirkulasikan selalu meningkat dengan adanya peningkatan sudut arah aliran dan kecepatan aliran udara. Sedangkan jumlah kalor yang diserap udara yang disirkulasikan merupakan perkalian dari jumlah udara yang disirkulasikan, rapat massa udara, kapasitas panas jenis dan perbedaan suhu antara suhu udara yang ada dalam ruangan (volume model) dan suhu udara dalam lorong *wind tunnel*.

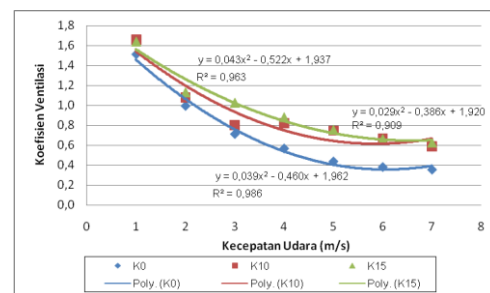


Gambar 7. Hubungan antara penyerapan kalor terhadap kecepatan udara untuk berbagai variasi arah aliran

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa Jumlah kalor yang diserap udara yang disirkulasikan  $H$  merupakan fungsi dari kecepatan aliran udara di luar model (ruangan)  $V$  yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Untuk arah aliran udara bersudut  $0^\circ$ ,  $H = -32,25V^2 + 490 V + 16649$
- Untuk arah aliran udara bersudut  $10^\circ$ ,  $H = -12,32V^2 + 429,8 V + 16669$
- Untuk arah aliran udara bersudut  $15^\circ$ ,  $H = -0,04219,85V^2 + 569,2 V + 16654$

**Koefisien Ventilasi**



Gambar 8. Hubungan antara koefisien ventilasi terhadap kecepatan udara untuk berbagai variasi arah aliran udara

Berdasarkan grafik gambar 8 dapat dinyatakan bahwa perubahan kecepatan udara dalam lorong mempengaruhi nilai koefisien ventilasi, demikian juga besar sudut arah aliran udara dalam lorong berpengaruh terhadap besarnya nilai koefisien ventilasi. Koefisien ventilasi merupakan faktor koreksi dalam menentukan jumlah udara yang dikeluarkan dari dalam ruangan per jam bila dihitung dengan mengkalikan ketiga parameter, yaitu, luas lubang laluan ventilasi udara, kecepatan udara dalam lorong *wind tunnel*

dan waktu lamanya sirkulasi. Sedangkan jumlah udara yang disirkulasikan per jam merupakan jumlah udara yang dari dalam ruang keluar ruangan dikarenakan adanya udara baru atau udara segar yang masuk ruangan sehingga juga dapat dihitung dengan rumus luasan lubang ventilasi kali kecepatan udara melalui penampang luasan ventilasi kali waktu selama satu jam. Jadi koefisien ventilasi sebenarnya adalah merupakan perbandingan kecepatan antara kecepatan aliran udara melalui lubang ventilasi terhadap kecepatan aliran udara dalam lorong.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa koefisien ventilasi baik untuk arah aliran udara yang sejajar dinding model atau sudut arah aliran sebesar  $0^\circ$ , maupun arah aliran udara yang menyudut, yaitu bersudut  $10^\circ$  dan  $15^\circ$  nilainya semakin menurun mengecil dengan bertambahnya kecepatan aliran udara dalam lorong *wind tunnel*. Dengan kata lain dapat dinyatakan bahwa koefisien ventilasi K merupakan fungsi dari kecepatan aliran udara di luar model (ruangan) V yang dapat diformulasikan sebagai berikut:

- Untuk arah aliran udara bersudut  $0^\circ$ ,  $K = 0,039V^2 - 0,46 V + 1,96$
- Untuk arah aliran udara bersudut  $10^\circ$ ,  $K = 0,029V^2 - 0,386 V + 1,92$
- Untuk arah aliran udara bersudut  $15^\circ$ ,  $K = 0,042V^2 - 0,522 V + 1,937$

## KESIMPULAN

Dari pembahasan terhadap hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa kecepatan dan arah aliran udara berpengaruh pada kondisi udara yang dinyatakan dengan adanya perubahan jumlah udara yang disirkulasikan, kemampuan penyerapan kalor oleh udara dan koefisien ventilasi.

- Sirkulasi udara maksimum ( $95 \text{ m}^3/\text{jam}$ ) terjadi pada kecepatan  $7 \text{ m/detik}$  dan arah aliran dengan sudut  $15^\circ$ .
- Penyerapan kalor maksimum ( $169187 \text{ J}$ ) terjadi pada kecepatan  $7 \text{ m/detik}$  dan arah aliran dengan sudut  $15^\circ$ .
- Koefisien ventilasi maksimum ( $1,55$ ) terjadi pada kecepatan  $1 \text{ m/detik}$  dan arah aliran dengan sudut  $15^\circ$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marieb, Elaine N; 2004: *Human Anatomy and Physiology*; Sixth Edition; Dorling Kindersley Publishing Inc.: Delhi
- [2] Moerdjoko; 2004: Kaitan Sistem Ventilasi Bangunan dengan Keberadaan Mikroorganisme Udara.
- [3] ASHRAE Standard; 2003: *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*; American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers; GA: Atlanta.