

# MENGEVALUASI PENGHAWAAN ALAMI SEBUAH RUMAH TROPIS DUA LANTAI DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK SIMULASI NUMERIK

**Sangkertadi, Fransisca Rumagit**

Staf Pengajar di Jurusan Arsitektur – Universitas Sam Ratulangi, Manado

## ABSTRAK

Tipe rumah tropis pada umumnya adalah memiliki bukaan cukup untuk menghasilkan debit ventilasi untuk mencapai tingkat kenyamanan dan kesehatan ruang. Namun begitu yang dijadikan ukuran mengenai persyaratan kuantitas debit ventilasi di Indonesia telah ditetapkan melalui SK SNI-T-14-93. Studi ini adalah dalam rangka mengevaluasi sistem penghawaan alami pada sebuah tipe rumah tropis berlantai dua (merupakan modifikasi dari rumah tradisional Minahasa) yang berada di daerah perkotaan (di pusat kota di Manado). Rumah tersebut dibuat sedemikian sehingga terdapat sebuah ciri ventilasi cerobong disalah satu bagian ruangnya.

Metoda yang dipakai dalam studi ini adalah simulasi numerik dengan program Ventila.1.0 (program dibuat oleh Sangkertadi, 1989, dalam bahasa Fortran77) Formulasi yang ada didalam program ini didasarkan pada persamaan-persamaan umum tentang aliran (Bernoulli, Perbedaan Tekanan, Stack Effect, dll).

Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa ternyata sistem penghawaan silang berlangsung dengan baik dan nampak bahwa sistem ventilasi cerobong juga menunjukkan fungsinya dengan baik.

**Kata kunci** : arsitektur tropis, penghawaan alam, simulasi numerik.

## ABSTRACT

*Large openings in tropical style houses are needed to get enough airflow through the rooms. As it is mentioned in the Indonesian standard building (SK SNI T-14-1993) that there is a minimum ventilation rate for each room. This study concern in evaluation of natural ventilation performance of a two-story tropical house in Manado.*

*Recently, numerical simulation is common method and practical tool in the researches in engineering. Airflow pattern in buildings can easily evaluated using numerical simulation method. Wind direction and speed as variable of inputs can easily varied and introduced in the code of simulation. In this study a computer program Ventila.1.0 (written by Sangkertadi, 1998) is used as simulator. This code is based on the basic of flow equations (Bernoulli, Pressure difference, Stack-effect, Mass balance).*

*The results show that the quantity of airflow from cross ventilation is greater than the minimum value mentioned in the standard.*

**Keywords:** *natural ventilation, tropical house, numerical simulation*

## PENDAHULUAN

### 1. Umum

Tujuan dari setiap perencanaan arsitektural adalah untuk menciptakan kenyamanan maksimum bagi pengguna. Kenyamanan dalam hal ini meliputi, antara lain adalah : kenyamanan suhu dan kebutuhan udara segar. Kedua hal ini dicapai dengan membuat bukaan atau jendela lebar pada selubung bangunan. Ini merupakan salah satu ciri standar arsitektural tipe bangunan yang berlokasi di daerah yang beriklim tropis dan lembab, khususnya pada bangunan yang tidak mengandalkan sistem pengkondisian udara (AC). Bukaan atau jendela tersebut dipakai

sebagai prasarana aliran arus udara atau ventilasi alami yang dibutuhkan bagi ruang-ruangnya.

Pada hakekatnya ventilasi memiliki tiga fungsi yaitu:

- Fungsi kesehatan : untuk memenuhi kebutuhan pergantian udara bersih pada suatu ruangan (terdapat ketentuan WHO yang mensyaratkan angka pergantian udara minimal pada setiap tipe ruangan)
- Fungsi pendinginan ruang : diharapkan bahwa udara segar dan bersuhu lebih rendah dari pada suhu udara dalam ruang, dapat menghambat naiknya suhu udara dalam ruang melalui proses konveksi
- Fungsi kenyamanan aerotermaal : melalui hembusan angin pada kulit manusia, diharap-

kan adanya peningkatan kenyamanan melalui proses evaporasi keringat pada kulit manusia

Untuk mengestimasi debit ventilasi pada tipe bukaan lebar, dikenal beberapa metode [4] :

- *Estimation from Building Airtightness Data*
- *Simplified theoretical methods*
- *Network (Zonal) model*
- *Computational fluid Dynamics*

Khusus dalam penelitian ini digunakan program Ventila.1.0 yang prosedur perhitungannya didasarkan pada metode Network (zonal) model sehingga dapat dipakai untuk mensimulasikan aliran angin pada kasus multi-zone.

## 2. Fokus Penelitian

Yang menjadi fokus penelitian adalah sebuah rumah tropis dua lantai yang merupakan modifikasi dari rumah tradisional Minahasa, dan berada di lokasi perkotaan (di Manado) dengan ciri-ciri umum konstruksi sebagai berikut :

- Lantai bawah dimanfaatkan sebagai ruang tertutup
- Adanya kesan sistim cerobong ventilasi yang memanfaatkan lubang tangga yang menerus kearah atap
- Dinding bagian lantai bawah terbuat dari konstruksi bata
- Dinding di lantai dua terbuat dari kayu

Dan yang menjadi keluaran hasil penelitian ini adalah :

- Debit total ventilasi
- Pergantian udara
- Pola aliran angin yang terjadi

## METODOLOGI

Secara umum metode yang dijalankan meliputi dua tahap, yakni:

- Pertama, dilakukan observasi ke obyek guna mengambil data iklim dan data fisik obyek
- Kedua, dilakukan perhitungan simulasi dengan menggunakan program Ventila I.0

### 1. Tentang Program Ventila I.0

Program yang dinamakan VENTILA 1.0 dibuat oleh Sangkertadi dari Lab. Sains dan Teknologi Bangunan Fak. Teknik Univ. Sam Ratulangi Manado [7] adalah program komputer yang digunakan untuk kebutuhan simulasi aliran angin/ventilasi yang melewati suatu bukaan untuk kasus bangunan multi ruang. Program ini

ditulis dalam dua versi, yakni untuk versi sebagai suatu program independen, dan dalam versi lain yang dapat diintegrasikan sebagai subroutine pada program simulator TRNSYS. Program ini dirancang hanya untuk aliran bertipe monodimensional, dan berbasis pada persamaan-persamaan umum tentang aliran/tekanan udara (Bernoulli, kontinuitas), sehingga pemakaiannya dibatasi hanya untuk kasus bukaan yang bukaannya tidak lebih dari 20% terhadap dinding tempat bukaan itu berada(1). Namun, program ini yang ditulis dalam bahasa Fortran77, dapat dipakai untuk kasus simulasi bangunan sampai dengan 20 ruang dan 40 bukaan. Teori kesetimbangan melalui suatu iterasi, diterapkan dalam program ini dalam rangka untuk mencapai ekuivalensi debit aliran yang keluar dan yang masuk dari suatu ruang. Program ini cukup dioperasikan dalam sebuah PC dan menggunakan sistim operasi MS-DOS. Secara umum diagram alirnya (flowchart) ditunjukkan melalui gambar (1). Sedangkan formulasi yang diterapkan ditunjukkan melalui persamaan-persamaan fisis berikut ini.

- a. Metode "Power Law" untuk mengestimasi kecepatan angin pada ketinggian tertentu dan pada lokasi tertentu yaitu :

$$V_z = V_h a \left[ \frac{Z}{10} \right]^b \dots\dots\dots (1)$$

- dimana :
- $V_z$  : kecepatan angin pada ketinggian Z (m/s)
  - $A, \beta$  : koefisien lingkungan (pusat kota, pedesaan, hutan, dll)
  - $V_h$  : kecepatan angin menurut data meteorologi yang diukur pada ketinggian 10 m

- b. Persamaan debit aliran angin pada bukaan lebar [7],[1],[5],[2]

$$Q = C_d A_i \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \dots\dots\dots (2)$$

- dimana :
- $Q$  : debit ventilasi ( $m^3/s$ )
  - $\Delta P$  : perbedaan tekanan diantara dua ruang yang dibatasi bukaan (Pa)
  - $C_d$  : koefisien tipe bukaan (discharge coefficient)
  - $A$  : luas bukaan ( $m^2$ )
  - $\rho$  : massa jenis udara

c. Tekanan dinamik karena pengaruh angin

$$P_{dyn} = 0.5 \rho C_p V_z^2 \dots\dots\dots (3)$$

dimana

- $P_{dyn}$  : tekanan angin
- $C_p$  : koefisien tekanan angin pada bidang yang terdapat bukaan
- $V_z$  : kecepatan angin pada ketinggian z yang sesuai dengan ketinggian bukaan

d. Tekanan statik karena pengaruh temperatur dan ketinggian (stack-effect) [4]

$$P_s = -3451.27(h_2 - h_1) \left[ \frac{1}{T_{ext}} - \frac{1}{T_{int}} \right] \dots\dots(4)$$

dimana :

- $P_s$  : tekanan statik ( $P_a$ )
- $h_2$  : ketinggian bukaan
- $h_1$  : ketinggian titik referensi
- $T$  : suhu udara (K)

e. Pada setiap ruangan (*zone*) diberlakukan hukum konsevasi masa, sehingga debit total ventilasi yang masuk pada bangunan adalah sama dengan debit total yang keluar dari bangunan, atau :

$$\sum_{k=1}^n Q_k = 0 \dots\dots\dots (5)$$

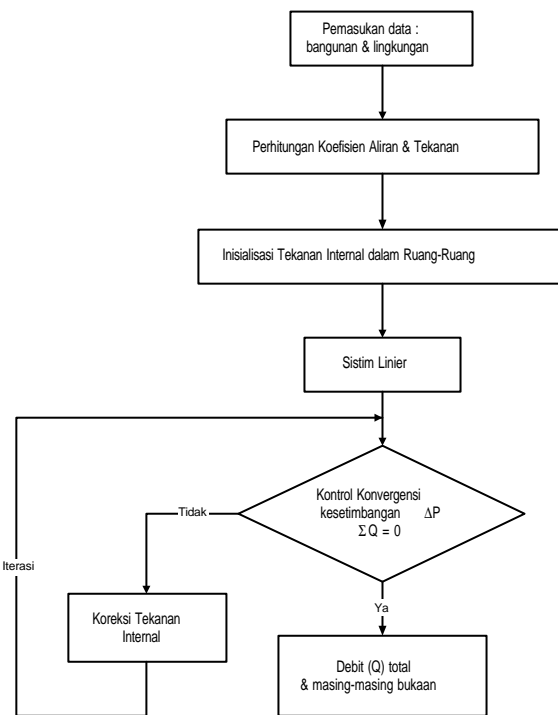
Program ini membutuhkan sejumlah data input :

- Kecepatan angin (pada ketinggian 10 m) sebagaimana halnya data meteorologi (dalam satuan m/detik)
- Koefisien tipe lingkungan permukaan kawasan dimana bangunan (sebagai kasus) berada berupa koefisien Alpha dan Beta.
- Jumlah ruang sebagai kasus.
- Jumlah bukaan untuk tipe bukaan yang berada dalam selubung bangunan.
- Jumlah bukaan untuk tipe bukaan yang berada pada dinding sekat antar ruang.
- Angka koefisien debit untuk setiap tipe bukaan (Discharge Coefficient =  $C_d$ ).
- Angka koefisien tekanan angin yang mengenai dinding tempat bukaan tipe selubung ( $C_p$ ).
- Luas masing-masing bukaan ( $m^2$ ).
- Ketinggian masing-masing bukaan (m).
- Suhu ruang luar ( $^{\circ}C$ ).
- Suhu ruang dalam setiap ruang ( $^{\circ}C$ ).

- Volume setiap ruang ( $m^3$ ).
- Nama file hasil perhitungan / simulasi.

Sebagai keluaran (*output*) adalah :

- Kecepatan angin (m/detik) pada ketinggian bukaan.
- Kecepatan udara (m/detik) yang melewati setiap bukaan.
- Debit ventilasi ( $m^3/detik$ ) yang melewati setiap bukaan; bernilai positif apabila arah angin yang melewati bukaan adalah menuju ruang yang bersangkutan; bernilai negatif apabila sebaliknya (meninggalkan ruang).
- Tekanan-tekanan dinamik dan statik, dan tekanan internal.
- Total kuantitas aliran ( $m^3/detik$ ) yang melewati suatu ruang.
- Angka pergantian udara setiap jam.



Gambar 1. Diagram alir (flowchart) prosedur perhitungan pada program Ventila.1.0

## 2. Observasi dan Pengukuran fisis bangunan dan lingkungan

Observasi dan pengukuran fisis lingkungan terdiri dari :

- kesan yang dirasakan oleh penghuni tentang aliran angin dan suhu didalam ruang-ruang melalui wawancara
- jumlah penghuni di setiap ruang
- pendataan lingkungan dan bangunan disekitar obyek studi

- pendataan tentang iklim/cuaca kota (suhu udara, kecepatan dan arah angin)
- pengukuran fisik bangunan
- pengukuran temperatur dan angin (arah dan kecepatan) didalam ruang-ruang dan diruang luar

Hasil observasi dan pengukuran fisis bangunan dan lingkungan ditunjukkan melalui gambar-gambar 2 tentang aspek arsitektural dan tabel 1 tentang dimensi arsitektural serta tentang hasil pengukuran klimatis didalam ruang dan di ruang luar. Karakter desain menyangkut lubang tangga yang menerus sampai bagian atap, menunjukkan adanya kecenderungan penerapan sistim “*ventilasi cerobong*”

Hasil wawancara menunjukkan bahwa :

- Penghuni merasakan adanya aliran angin yang cukup terasa yang melewati lubang tangga bagian belakang rumah. Lubang tangga yang terus terbuka sampai bagian atap bangunan diduga identik dengan “sistim ventilasi cerobong”.
- Pada lantai atas terasa adanya aliran angin (*cross ventilation*), namun kadang-kadang terasa terlalu kencang.
- Di pintu antar ruang di lantai bawah, kadang-kadang terasa adanya angin yang cukup kencang.
- Dinformasikan pula tentang arah angin dominan yang menuju bangunan

### **3. Proses Simulasi.**

Data-data input dalam proses simulasi didapat diantaranya melalui hasil observasi dan pengukuran, yakni menyangkut :

- dimensi dan ketinggian posisi bukaan
- kecepatan dan arah angin dari ruang luar
- suhu udara di ruang luar dan ruang dalam
- volume ruang
- jumlah dan perletakan bukaan (pada selubung atau pada sekat antar ruang)

Sedangkan data input lainnya didapat dari sejumlah referensi yakni menyangkut:

- koefisien hambatan aliran pada bukaan (discharge coefficient, Cd)
- koefisien tekanan angin (Cp)
- koefisien lingkungan ( $\alpha$ ,  $\beta$ )

Data tentang Cp (koefisien tekanan angin) untuk tipe bangunan rendah (low-rise) beratap prisma didasarkan pada persamaan empiris menurut Swami & Chandra [8]

Sedangkan data mengenai Cd adalah berkisar antara 0.5 dan 0.6 berdasarkan hasil percobaan laboratorium oleh Peube J L di Laboratoire Aerodynamique Poitiers, France [5]. Pada tabel 1 ditunjukkan data-data input yang dibutuhkan (Cp, Cd, dll). Data mengenai temperatur didasarkan pada hasil pengukuran pada siang hari saat terjadi kondisi panas maksimum diruang dalam. Sedangkan data mengenai besarnya kecepatan angin pada ketinggian 10 meter diambil dari data meteorologi (data kecepatan angin pada jam 11.00 s/d 14.00, saat terjadi kondisi maksimum pada temperatur udara). Angka koefisien lingkungan (kekasaran permukaan bumi) adalah angka yang menunjukkan tipe permukaan untuk daerah perkotaan.

## **HASIL & PEMBAHASAN**

Hasil dari simulasi adalah tentang :

- debit ventilasi pada setiap bukaan untuk kondisi angin dan suhu yang bervariasi
- interpretasi arah/pola aliran angin didalam ruang.
- angka pergantian udara di setiap ruang

Selanjutnya hasil/keluaran tersebut diperbandingkan terhadap syarat standar kebutuhan pergantian udara di setiap ruang (SK - SNI T-14-1993-03).

Tabel 2 menunjukkan hasil tentang debit ventilasi setiap bukaan maupun hasil debit secara keseluruhan yang melewati ruangan-ruangan. Gambar 3. menunjukkan hasil interpretasi arah dan pola aliran angin didalam ruang-ruang. Beberapa hal yang perlu dicatat mengenai hasil tersebut adalah :

- Di Ruang - I : Pola aliran angin menunjukkan sifat yang logis, dimana pada semua bukaannya dilewati aliran angin yang cenderung berasal dari arah angin dominan.
- Di Ruang - II : Terjadi aliran angin balik di bukaan nomor-1, hal ini dapat dijelaskan bahwa terjadi "hisapan" di ruang-II melalui lubang tangga. Peristiwa ini dapat dikatakan sebagai "stack-effect" dari adanya kesan "ventilasi cerobong" yang secara tidak sengaja ditampilkan melalui lubang tangga yang menerus sampai dengan bagian atap ruang-II (lihat gambar.3 - gambar potongan)
- Di Ruang - III : Sama dengan yang terjadi di Ruang - I, bahwa pola aliran angin me-

nunjukkan sifat yang logis, dimana pada semua bukaannya dilewati aliran angin yang cenderung berasal dari arah angin dominan.

Sedangkan pada tabel 3 ditunjukkan hasil perbandingan dengan syarat standar yang ditetapkan pada SK SNI T 14.1993. Jelas pada tabel tersebut, bahwa untuk semua ruangan, syarat minimum pergantian udara bersih dapat terpenuhi.

Selanjutnya yang perlu dicatat, adalah bahwa dalam simulasi ini, sasaran hasil hanya ditujukan pada evaluasi terhadap syarat pergantian udara bersih. Sedangkan kenyataannya, untuk daerah beriklim tropis lembab, tujuan penghawaan alami adalah juga untuk usaha menurunkan panas dalam ruang serta untuk mencapai kecepatan angin yang memadai agar tercapai kenyamanan termal melalui evaporasi keringat. Disini jelas terdapat keterbatasan pada program Ventila.1.0.

### KESIMPULAN

Dalam studi ini telah diadakan semacam demonstrasi tentang manfaat simulasi numerik untuk mengetahui arah aliran angin yang melewati bukaan-bukaan serta untuk mengevaluasi jumlah debit ventilasi. Pada kasus tipe bangunan tropis dua lantai ini, hasil simulasi menunjukkan adanya potensi fungsi cerobong angin (vertikal) atau stack effect yang ditampilkan melalui lubang tangga yang menerus hingga mencapai bagian dari ruang luar.

Secara umum hasilnya juga menunjukkan adanya perilaku yang logis dari pola pergerakan angin yang melewati setiap bukaan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa formulasi dan prosedur perhitungan (solusi matematis) yang diterapkan dalam program Ventila.1.0 dikatakan mencukupi.

Syarat minimum pergantian udara segar sebagai mana ditetapkan dalam SK-SNI dapat selanjutnya dapat diterapkan dengan memanfaatkan teknik perhitungan dengan menggunakan simulasi numerik semacam ini.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Aynsley R M, Melbourne W, Vickery B J "Architectural Aerodynamics". London : Applied Science Publisher, 1977.

2. Awbi H B. "Ventilation of Buildings". London : E & FN Spon - Chapman & Hall, 1991.
3. Departemen Pekerjaan Umum "Tata cara Perencanaan Teknis Konservasi energi Pada Bangunan Gedung", SK-SNI T-14-1993-03, Bandung : Yayasan LPMB, 1993.
4. Liddament M W. "A Guide to Energy Efficient Ventilation", Coventry : AIVC, 1996.
5. Peube J L, D'Utruy B, Fayoux D "Ventilation Naturelle en Climat Tropical Humide", Potiers: Laboratoire d'Etudes Aerodynamiques - Universite de Poitiers 1991.
6. Roldan A "Etude Thermique et Aeraulique des Enveloppes de Batiment", Disertasi Doktor, INSA-Lyon, 1985.
7. Sangkertadi, "Pembuatan program simulasi penghawaan alami Ventila.1.0 untuk pengembangan praktikum pada mahasiswa Arsitektur S-1", Laporan Penelitian, Fakultas Teknik Unsrat, 1998
8. Swami M V, Chandra S. "Correlations for Pressure Distribution on Buildings and Calculation of Natural Ventilation Airflow", ASHRAE Transaction 1988. Vol 94 part.1.





**MENGEVALUASI PENGHAWAAN ALAMI SEBUAH RUMAH TROPIS DUA LANTAI DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK SIMULASI NUMERIK (Sangkertasi & Fransisca Rumagit)**

**Tabel 1. Data - data teknis bangunan**

RUANG	BUKAAN	LUAS BUKAAN (m <sup>2</sup> )	KETINGGI-AN (m)	Tipe bukaan	Cd	Berhubungan dgn. Rg.	Tekanan Angin Cp	Data-data lain :
Ruang - I Vol. = 72 m <sup>3</sup>	1	0,36	2,3	Sb.	0,5	-	0,32	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kec. Angin : 7 m/dt</li> <li>• Koef. <math>\alpha</math> : 0,67</li> <li>• Koef. <math>\beta</math> : 0,25</li> <li>• Suhu Ruang Luar : 32 °C</li> <li>• Suhu Ruang Dalam : 33 °C</li> <li>• Suhu Ruang Dalam Lantai 2 : 34 °C</li> </ul>
	2	0,24	2,3	Sb.	0,5	-	0,32	
	3	0,24	2,3	Sb.	0,5	-	0,32	
	4	0,24	2,3	Sb.	0,5	-	0,32	
	5	0,24	2,3	Sb.	0,5	-	-0,45	
	6	0,32	2,3	Sk.	0,5	II	-	
Ruang - II Vol = 70 m <sup>3</sup>	1	0,32	2,3	Sb.	0,5	-	-0,45	
	2	0,24	2,3	Sb.	0,5	-	-0,45	
	3	1,4	5	Sb.	0,5	-	-0,45	
	4	0,32	2,3	Sk.	0,5	I	-	
Ruang - III Vol. = 70 m <sup>3</sup>	1	0,32	5,3	Sb.	0,5	-	0,32	
	2	0,24	5,3	Sb.	0,5	-	0,32	
	3	0,24	5,3	Sb.	0,5	-	0,32	
	4	0,32	5,3	Sb.	0,5	-	-0,45	

Keterangan : Sb = tipe bukaan selubung terhadap ruang luar ; Sk = tipe bukaan sekat antar ruang dalam

**Tabel 2. Hasil simulasi**

Ruang	Bukaan (n)	P(n) (Pa)	P (int) (Pa)	P (Pa)	Vh (m/s)	V (A) (m/s)	Q(n) m <sup>3</sup> /s	Debit Total (m <sup>3</sup> /s)	Pergantian Udara/Jam
I	1	1,95	0,82	1,12	3,25	0,68	0,25	0,74	36,9
	2	1,95	0,82	1,12	3,25	0,68	0,16		
	3	1,95	0,82	1,12	3,25	0,68	0,16		
	4	1,95	0,82	1,12	3,25	0,68	0,16		
	5	-2,93	0,82	3,75	3,25	-1,25	-0,30		
	6	0,00	0,82	4,5	-	-1,37	-0,44		
II	1	-2,93	-3,68	0,75	3,25	0,56	0,18	0,75	38,7
	2	-2,93	-3,68	0,75	3,25	0,56	0,13		
	3	-4,37	-3,68	0,69	3,25	-0,54	-0,75		
	4	0,00	-3,68	4,5	-	1,37	0,44		
III	1	2,71	1,69	1,02	4,00	0,65	0,21	0,52	26,1
	2	2,71	1,69	1,02	4,00	0,65	0,16		
	3	2,71	1,69	1,02	4,00	0,65	0,16		
	4	-4,69	1,69	6,38	4,00	-1,63	-0,52		

Keterangan : P(n)=Tekanan udara di bagian luar dari bukaan 'n' ; P(int)=Tekanan udara di ruang dalam ;

$\Delta P$  = Perbedaan tekanan antara dua sisi pada bukaan ke 'n' ; Vh=Kecepatan udara diruang luar pada ketinggian 'posisi bukaan'

V(A)=Kecepatan udara saat melewati bukaan ke 'n'; Qn=Debit ventilasi yang melewati bukaan ke 'n'

**Tabel 3. Perbandingan Hasil Simulasi dengan syarat pada SK-SNI**

Ruang. nomor	Nomor bukaan yang mengalirkan udara bersih	Fungsi Ruang	Jumlah Pemakai maksimum	Syarat Pergantian udara segar/orang (SK-SNI)	Syarat Pergantian udara segar total	Hasil simulasi	Keterangan
1	1,2,3,4	Rg. Keluarga	5	0.15 m <sup>3</sup> /menit	0.75 m <sup>3</sup> /menit	44 m <sup>3</sup> /menit	Memenuhi syarat
2	1,2	Rg. Kerja	2	0.15 m <sup>3</sup> /menit	0.3 m <sup>3</sup> /menit	18 m <sup>3</sup> /menit	Memenuhi syarat
3	1,2,3	Rg. Tidur	3	0.15 m <sup>3</sup> /menit	0.45 m <sup>3</sup> /menit	30 m <sup>3</sup> /menit	Memenuhi syarat

