

## **PENGHAWAAN ALAMI TERKAIT SISTEM VENTILASI TERHADAP KENYAMANAN TERMAL RUMAH SUSUN INDUSTRI DALAM**

**RAHMAWATI, ARIF KAMALUDIN FIRDAUS AKBAR, FATHIA KHAIRUNNISA AGUSTIN**

Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Nasional

Email: rahmawatimuslan@gmail.com

### **ABSTRAK**

*Rumah Susun Industri Dalam merupakan hunian bertingkat yang memiliki beragam aktifitas di dalamnya. Rumah susun untuk masyarakat menengah ke bawah dituntut tetap dapat memenuhi kenyamanan termal penghuninya. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui dan memahami penghawaan alami terkait sistem ventilasi terhadap kenyamanan termal pada bangunan yang memiliki permasalahan dan keunikan. Permasalahan ini timbul akibat desain bukaan udara masuk (inlet), bukaan udara keluar (outlet), dan jalur sirkulasi udara antara inlet dan outlet mengakibatkan laju udara (air flow), kecepatan gerak udara, dan pergantian udara (air changes) yang terjadi di dalam ruangan tidak memenuhi syarat. Keunikan bangunan ini berupa keragaman tipe kamar dan desain bukaan pada fasad. Metoda penelitian yang digunakan adalah deskriptif baik kualitatif dan kuantitatif. Pada akhirnya hasil analisis kualitatif yang dikuantitatifkan dilakukan pembobotan secara kuantitatif. Hasil kajian diharapkan menjadi acuan pembaca dalam mendesain sistem ventilasi rumah susun agar tercapai kenyamanan termal di dalam ruangan.*

**Kata kunci :** *penghawaan alami, sistem ventilasi, kenyamanan termal*

### **ABSTRACT**

*Rumah Susun Industri Dalam is a vertical residential building that accomodate many activities of the occupants. The flats is destinied for lower and middle class residents and have to fulfil the thermal comfort for the occupants. The purpose of this research is to find out and comprehend the natural ventilation related to ventilation system for thermal comfort in the building which has it own problems and uniqueness. The problem is emerge because of the inlet's opening design, outlet's opening, and sirculation lane between inlet and outlet's opening causes air flow, air speed movement, and air changes in the room are not comply the requirements. The uniqueness of this building it is variety types of room and the opening's design on building facade. The method that is used for this study is descriptive method that is qualitative and quantitative. In the end of qualitative analysis it will converted to quantitative method for quantitative result. Hopefully this research could be reference to the readers for making flat's ventilation system that comply the requirements of thermal comfort.*

**Keyword:** *natural ventitlation, ventilation system, thermal comfort*

## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini bangunan rumah susun semakin banyak, hal ini tidak terlepas dari kebutuhan akomodasi masyarakat terhadap tempat tinggal, khususnya masyarakat dengan tingkat kesejahteraan menengah ke bawah. Rumah susun adalah bangunan gedung bertingkat yang dibangun dalam suatu lingkungan yang terbagi-bagi dan distrukturkan secara fungsional dalam arah horizontal maupun vertikal. Kenyamanan termal penghuni dalam beraktivitas di dalam ruang merupakan salah satu kebutuhan mendasar yang harus terpenuhi.

Bangunan Rumah Susun Industri Dalam dipilih sebagai obyek kajian, karena bangunan ini memiliki permasalahan termal dan keunikan. Permasalahan termal ini timbul akibat desain bukaan udara masuk (*inlet*), bukaan udara keluar (*outlet*), serta jalur sirkulasi udara antara *inlet* dan *outlet* mengakibatkan kecepatan gerak udara, laju udara (*air flow*), dan pergantian udara (*air changes*) yang terjadi dalam ruangan tidak memenuhi syarat. Keunikan berupa konfigurasi bangunan pada tapak, keragaman tipe kamar, dan desain bukaan pada fasad.

Permasalahan yang dibahas meliputi: (1) Bagaimana faktor desain ditinjau dari konfigurasi bangunan pada tapak dan tipe unit hunian berdasarkan dimensi ruang mempengaruhi kenyamanan termal pada bangunan Rumah Susun Industri Dalam; (2) Bagaimana sistem ventilasi yang ada ditinjau dari orientasi bukaan, lokasi bukaan, dimensi bukaan, rasio bukaan, tipe bukaan, pengarah bukaan, jalur dan penghalang pada bangunan Rumah Susun Industri Dalam; (3) Bagaimana kenyamanan termal yang terjadi ditinjau dari arah dan kecepatan gerak, suhu udara, kelembapan udara, laju udara (*air flow*), dan pergantian udara (*air changes*) pada Rumah Susun Industri Dalam.

Metoda penelitian yang digunakan pada obyek kajian Rumah Susun Industri Dalam adalah metoda deskriptif. Metoda deskriptif merupakan cara untuk mengungkapkan kebenaran yang obyektif baik secara kualitatif, kuantitatif, dan kuantitatif yang kuantitatifkan. Pengamatan (observasi) obyek kajian meliputi konfigurasi bangunan pada tapak, sistem ventilasi ditinjau dari orientasi bukaan, lokasi bukaan, tipe bukaan, pengarah bukaan, serta jalur sirkulasi dan penghalang. Pengukuran dimensi unit hunian, sistem ventilasi (dimensi bukaan, rasio bukaan), dan kenyamanan termal (arah dan kecepatan gerak udara, suhu udara, kelembapan udara, laju udara (*air flow*), dan pergantian udara (*air changes*)). Pengukuran dilakukan pada tanggal 31 Oktober 2015 pukul 12.00–15.00 dan 15.00–18.00 saat cuaca cerah sedikit berawan yang dilakukan di 3 lantai pada bangunan tersebut yaitu lantai 1, 3, dan 4 dengan kondisi pintu tertutup dan jendela terbuka. Dokumentasi meliputi tampak, koridor, unit hunian, dan sistem ventilasi. Kuesioner terkait dengan kenyamanan termal yang dilakukan terhadap 30 responden penghuni. Wawancara dengan pihak terkait yaitu pengelola dengan kenyamanan termal yang terjadi.

Nilai manfaat kajian bangunan Rumah Susun Industri Dalam ini adalah diharapkan menjadi acuan pembaca dalam mendesain ventilasi rumah susun agar tercapai kenyamanan termal di dalam ruangan.

## 2. KAJIAN TEORITIS

### 2.1 Faktor Desain

Faktor desain dalam arsitektur merupakan keadaan yang mempengaruhi suatu bentuk perencanaan bangunan secara arsitektur. Faktor desain meliputi:

#### 2.1.1 Konfigurasi Bangunan pada Tapak

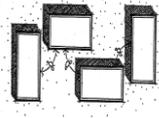
Penataan massa bangunan pada tapak:

1. Penataan massa acak

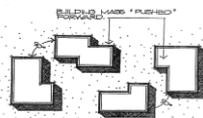
2. Massa bangunan diorder relasi 90°
3. Penambahan maju mundur
4. Memperpanjang garis imajiner
5. Relasi *overlap*



Gbr 1. Massa acak



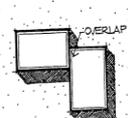
Gbr 2. Massa order 90°



Gbr 3. Massa maju mundur



Gbr 4. Massa dengan garis imajiner



Gbr 5. Massa overlap

Sumber: Staff Site Universitas Negeri Yogyakarta, [Staff.uny.ac.id/sites/default/files/03elemen\\_site\\_masa\\_dan\\_ruang\\_0.pdf](http://Staff.uny.ac.id/sites/default/files/03elemen_site_masa_dan_ruang_0.pdf), diakses 24 Oktober 2015

### 2.1.2 Tipe Unit Hunian dan Desain Bukaannya

Satu ruang: 18 m<sup>2</sup> – 45 m<sup>2</sup>

Satu kamar tidur: 36 m<sup>2</sup> – 54 m<sup>2</sup>

Dua kamar tidur: 45 m<sup>2</sup> – 90 m<sup>2</sup>

Tiga kamar tidur: 54 m<sup>2</sup> – 108 m<sup>2</sup>

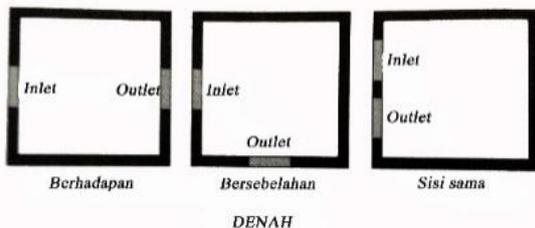
Desain bukaan berdasarkan lokasi: (1) Desain bukaan di dalam bidang; (2) Desain bukaan pada sudut; (3) Desain bukaan di antara bidang.

### 2.2 Sistem Ventilasi

Sistem ventilasi (*ventilation system*) adalah salah satu komponen bangunan yang mendukung terjadinya proses ventilasi atau pergantian udara di dalam ruangan. Faktor-faktor desain system ventilasi yang mempengaruhi pergerakan udara di dalam bangunan yaitu sebagai berikut:

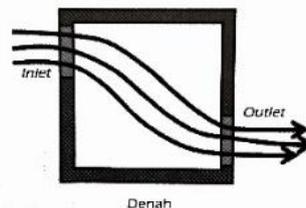
#### 2.2.1 Orientasi Bukaan

Perbedaan orientasi *inlet* terhadap arah angin datang mengakibatkan perbedaan arah pergerakan udara



Gbr 6. Posisi *otlet* terhadap *inlet*

Sumber: Nur Laela Latifah, *Fisika Bangunan I*, Griya Kreasi, Jakarta, 2015, Hal.136



Gbr 7. Ventilasi silang secara denah  
Sumber: Boutet, Terry S, *Controlling Air Movement – A Manual for Architect and Builder*, McGraw-Hill Book Company, 1987

#### 2.2.2 Lokasi Bukaan

Perbedaan orientasi *inlet* dan *outlet* terhadap arah angin datang mengakibatkan perbedaan kecepatan gerak udara.

#### 2.2.3 Dimensi Bukaan

Makin besar dimensi *inlet*, laju udara (*air flow*) dan pergantian udara (*air changes*) makin tinggi. Luas minimal suatu bukaan udara masuk (*inlet*) pada suatu ruang adalah: (1) Berdasarkan luas dinding fasad ruang 40% - 80% luas dinding; (2) Berdasarkan luas ruang 20% luas ruang.

#### 2.2.4 Rasio Bukaan

Rasio luas bukaan akan mempengaruhi kecepatan udara yang masuk ke dalam ruang. Dengan rasio tertentu antara luas *outlet* terhadap luas *inlet* diperoleh peningkatan kecepatan udara yang akan mendukung kenyamanan termal (0,6 m/det hingga 1,5 m/det).

### 2.2.5 Tipe Bukaannya

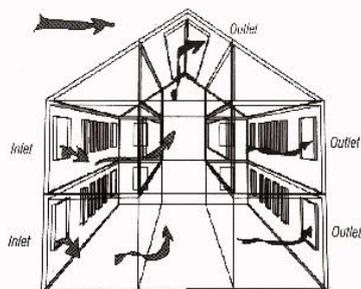
Terkait kenyamanan termal, bila kecepatan gerak udara/ angin adalah potensi maka tipe *inlet* yang dibutuhkan, yaitu sebagai berikut: (1) Tipe *inlet* harus dapat mengarahkan gerak udara dalam ruang semerata mungkin; (2) Tipe *inlet* harus optimal dalam mendukung laju udara (*air flow*) dan pergantian udara dalam ruang; (3) Tipe *inlet* harus fleksibel untuk dibuka tutup tergantung kebutuhan.

### 2.2.6 Pengarah Bukaannya

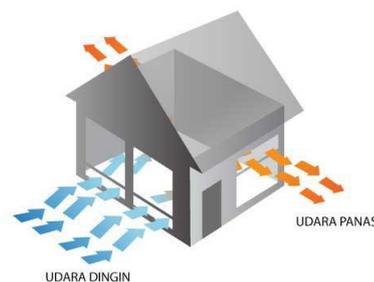
Pengarah pada bukaan merupakan bagian dari *inlet* dan komponen fasad bangunan berupa sirip yang menentukan arah gerak udara dalam ruang. Pada bukaan jendela, bagian dari *inlet* yang berfungsi sebagai pengarah adalah daun jendela dan kisi-kisi.

### 2.2.7 Jalur Sirkulasi dan Penghalang

Pada penghawaan alami, sistem ventilasi meliputi bukaan udara masuk (*inlet*), bukaan udara keluar (*outlet*), dan jalur sirkulasi udara antara *inlet* dan *outlet*. Pada rumah susun, koridor merupakan jalur sirkulasi udara antara *inlet* dan *outlet*.



Gbr 8. Pergerakan udara melalui sistem ventilasi  
Sumber: <http://www.edsl.net/main/Software/Designer/NVandMM.aspx>



Gbr 9. Pergantian udara  
Sumber: [http://primakencana.blogspot.com/2012\\_06\\_01\\_archive.html](http://primakencana.blogspot.com/2012_06_01_archive.html)

## 2.3 Kenyamanan Termal

Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal meliputi:

### 2.3.1 Arah dan Kecepatan Gerak Udara

Pergerakan udara yang diharapkan melalui desain bukaan (*opening*) arah gerak udara yang bergerak semerata mungkin dan uara yang bergerak dengan kecepatan sesuai kebutuhan yang cukup (0,6 m/s s/d 1,5 m/s).

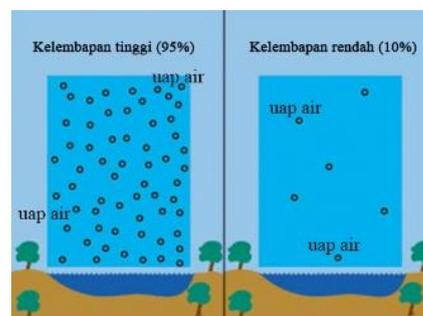
### 2.3.2 Suhu Udara

Syarat kondisi ruang agar tercapai kenyamanan termal untuk iklim tropis basah adalah Suhu udara di antara suhu ideal  $24\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 10. Perbedaan sudut jatuh sinar matahari di bumi

Sumber: Nur Laela Latifah, *Fisika Bangunan I*, Griya Kreasi, Jakarta, 2015, Hal. 136



Gambar 11. Perbandingan jumlah uap air pada kelembapan tinggi dan rendah  
Sumber: Cashins & Associates Blog, "Industrial Hygiene: What is Relative Humidity and Why is it

Important?", <http://cdn2.hubspot.net/hub/137863/file-1464675250-gif/images/g184.gif?t=1444828858855>, diakses 18 Oktober 2015

### 2.3.3 Kelembapan Udara

Nilai kelembapan udara adalah indikator banyaknya kandungan uap air di udara. Kelembapan udara yang ideal untuk daerah tropis basah memiliki nilai syarat kenyamanan termal  $40\% < RH < 60\%$ .

### 2.3.4 Laju Udara (*Air Flow*)

Laju udara adalah jumlah unit udara (volume atau berat) per satuan waktu yang melalui sistem ventilasi.

### 2.3.5 Pergantian Udara (*Air Changes*)

*Air changes*/ pergantian udara adalah jumlah pergantian udara yang terjadi di suatu ruang.

**Tabel 1. Kebutuhan laju udara pada ventilasi**

**Sumber: Tim Penyusun, (1993), SK SNI T-14-1993-03 Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung, Bandung, Yayasan LPMB – Departemen Pekerjaan Umum**

Fungsi Gedung	Kerapatan Penghunian Per 100 m <sup>2</sup> Luas Lantai (Orang)	Kebutuhan Udara Luar		Satuan
		Merokok	Tidak Merokok	
Rumah Tinggal				
a. Ruang duduk	-	-	0,30	m <sup>3</sup> / min/ kmr
b. Ruang tidur	-	-	0,30	m <sup>3</sup> / min/ kmr
c. Dapur	-	-	3,00	m <sup>3</sup> /min/ kmr
d. Toilet	-	-	1,50	m <sup>3</sup> / min/ kmr
e. Koridor	-	-	-	-

**Tabel 2. Kebutuhan pergantian udara per jam**

No	Fungsi Ruang	ACH	Catatan
1	Ruang duduk	6	Asumsi dari ruang tamu pada perpustakaan rumah <b>Sumber:</b> <a href="http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx">http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx</a>
2	Ruang tidur	10	Asumsi dari ruang pasien pada rumah sakit <b>Sumber:</b> <a href="http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx">http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx</a>
3	Dapur	15	Asumsi dari dapur pada perpustakaan rumah <b>Sumber:</b> <a href="http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx">http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx</a>
4	Toilet	10	Asumsi dari toilet pada rumah sakit <b>Sumber:</b> <a href="http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx">http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx</a>
5	Koridor	6-8	Asumsi dari <i>hallways</i> pada <i>public buildings</i> <b>Sumber:</b> <a href="http://ecorenovator.org/forum/conservation/891-diy-ventilation-heat-exchanger-5.html">http://ecorenovator.org/forum/conservation/891-diy-ventilation-heat-exchanger-5.html</a>

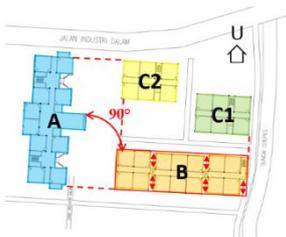
## 3. ANALISIS DAN TEMUAN

### 3.1 Faktor Desain

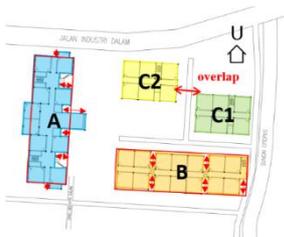
faktor desain meliputi konfigurasi pada tapak, tipe unit hunian dan desain bukaan. Berikut ini analisis faktor desain:

#### 3.1.1 Konfigurasi bangunan pada tapak

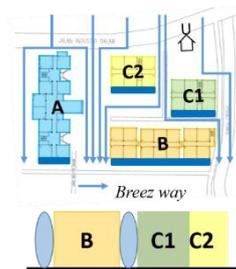
Massa bangunan Rumah Susun Industri Dalam **cukup baik** karena telah disusun sedemikian rupa sehingga kaitan hubungan antara massa bangunan, dan orientasi hubungannya tampak jelas dengan cara orderisasi 90°, menyejajarkan hubungan masing-masing blok dengan garis-garis imajiner, dan mencegah titik tegangan dengan *overlap*.



**Gambar 12. Konfigurasi Bangunan Rumah Susun Industri Dalam**



**Gambar 13. Konfigurasi Bangunan Rumah Susun Industri Dalam**



**Gambar 14. Breezeway dan Leeward**

Arah datang angin dari Utara tidak langsung berhadapan dengan muka massa bangunan di Kawasan Rumah Susun Industri Dalam kecuali bangunan Blok B sehingga mengakibatkan daerah bayangan angin di Selatan bangunan. Jarak antar blok menghasilkan jalur angin (*breez way*) merata dan terhalang oleh bangunan menyebabkan olakan angin di Selatan bangunan dan menurunkan kecepatannya.

**3.1.2 Tipe unit hunian dan desain bukaan**

**Tabel 3. Tipe unit hunian dan desain bukaan pada fasad bangunan Blok A**

No.	Tipe Unit Hunian	Dimensi (m)	Luas (m <sup>2</sup> )	Jenis Bukaan
1	K1	4,8 x 2,4	11,52	P1, J1
2	K2	4,8 x 2,4	11,52	P1, J1, J2
3	B1	4,8 x 4,8	23,04	P1, J1
4	B2	4,8 x 4,8	23,04	P1, J1, J2
5	B3	4,8 x 4,8	23,04	P1, PJ, J1

Keterangan:

K1: Tipe kecil 1

K2: Tipe kecil 2

B1: Tipe besar 1

B2: Tipe besar 2

P1: Tipe pintu

J1: Tipe jendela 1

J2: Tipe jendela 2

**3.2 Faktor Sistem Ventilasi**

Berikut ini faktor sistem ventilasi:

**3.2.1 Orientasi bukaan**

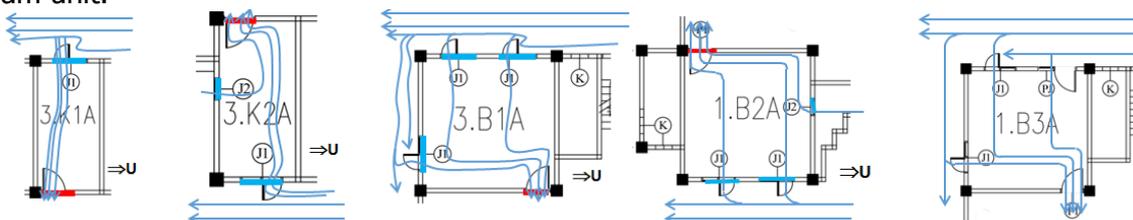
Orientasi bangunan yang mempengaruhi pergerakan udara di dalam unit Rumah Susun Industri Dalam **kurang baik**, hal ini dapat dilihat pada:

1. Orientasi *inlet* dengan arah gerak udara

Bangunan Rumah Susun Industri Dalam Blok A memiliki orientasi Barat – Timur dan orientasi *inlet* yang juga dominan ke arah Barat dan Timur mengakibatkan *inlet* tegak lurus terhadap arah angin yang datang dari Utara. Angin tidak dapat masuk dengan optimal karena arah bukaan dan jendela sebagai pengarah berlawanan dengan arah angin datang terutama pada *inlet* dengan orientasi dominan ke arah Barat.

2. Orientasi *inlet* dan *outlet* dengan kecepatan gerak udara

Pada Rumah Susun Industri Dalam Blok A terdapat 2 tipe letak *inlet* dan *outlet*, yaitu terletak pada dua sisi yang berhadapan juga sisi yang berhadapan dan bersebelahan. Kecepatan gerak udara di dalam unit cenderung menurun pada semua tipe unit karena terdapat *inlet* dan *outlet* dengan orientasi bersebelahan mengakibatkan angin yang masuk berbelok mengenai dinding kemudian keluar hal sehingga terjadi penurunan kecepatan gerak udara di dalam unit.



**Gambar 15. Orientasi inlet, outlet, dan pergerakan udara berdasarkan tipe unit**

### 3.2.2 Lokasi bukaan

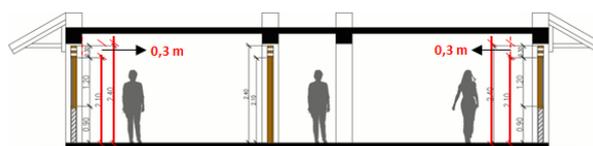
Lokasi bukaan pada unit Rumah Susun Industri Dalam **kurang baik**, hal ini dapat dilihat pada:

1. Lokasi *inlet* dan *outlet* dengan arah gerak udara.

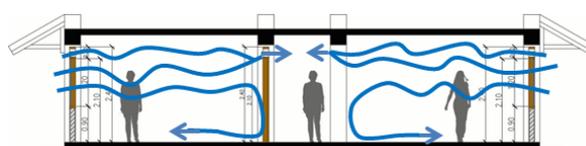
Pada beberapa unit *inlet* berhadapan dengan *outlet* tetapi tidak frontal, oleh karena itu angin tidak langsung bergerak lurus keluar menuju *outlet*. Selain itu beberapa unit memiliki *inlet* lebih dari satu buah sehingga membantu pemerataan aliran udara yang masuk kedalam unit. Tetapi karena udara yang masuk kedalam unit kurang optimal dan memiliki kecepatan di bawah standar, maka udara tidak dapat mengalir merata ke seluruh ruangan.

2. Perbedaan elevasi antara *inlet* dan *outlet*

Posisi *inlet* kisi di atas bukaan memiliki elevasi yg sama dengan *outlet*, sedangkan *inlet* berupa daun jendela memiliki elevasi yaitu 30cm, hal itu berlaku pada semua unit sehingga terjadi *cross ventilation* pada unit. Tetapi angin yang dapat masuk ke dalam unit kurang optimal dan memiliki kecepatan dibawah normal (0,6 m/det s/d 1,5 m/det) sehingga efek *cross ventilation* dan olakan yang terjadi pada unit kurang terasa.



Gambar 16. Elevasi *inlet* dan *outlet* pada unit



Gambar 17. *Cross ventilation* dan olakan yang terjadi pada unit

### 3.2.3 Dimensi bukaan

Pada unit Rumah Susun Industri Dalam Blok A terdapat 5 tipe unit dan tipe bukaan.

Tabel 4. Tipe Bukaan pada unit

Tipe Bukaan	P1	PJ	J1	J2	K

Dimensi bukaan yang terdapat pada Rumah Susun Industri Dalam Blok A **kurang baik**. Dari hasil perhitungan luas minimal bukaan berdasarkan luas dinding fasad ruang (40%- 80%) dan luas ruang (20%), semua unit pada Rumah Susun Indutri Dalam tidak memenuhi syarat. Hal ini akan mempengaruhi laju udara (*air flow*) dan pergantian udara (*air changes*) sehingga berdampak pada kurang optimalnya perolehan penghawaan alami pada unit karena kecepatan udara yang didapat di dalam unit di bawah standar (0,6 m/det s/d 1,5 m/det) sehingga kenyamanan termal pada unit tidak tercapai.

Tabel 5. Hasil perhitungan dimensi dan luas bukaan minimal

Unit	Luas dinding fasad min (40%-80%)	Luas ruang min (20%)
K1	12,11 % Tidak memenuhi syarat	7,06 % Tidak memenuhi syarat
K2	4,41 % Tidak memenuhi syarat	7,73 % Tidak memenuhi syarat
B1	9,01 % Tidak memenuhi syarat	10,51 % Tidak memenuhi syarat
B2	6,34 % Tidak memenuhi syarat	7,4 % Tidak memenuhi syarat
B3	6,75 % Tidak memenuhi syarat	7,88 % Tidak memenuhi syarat

### 3.2.4 Rasio bukaan

Tabel 6. Perbandingan rasio *inlet* dan *outlet* pada tiap unit.

No	Unit	Luas <i>inlet</i> (m)	Luas <i>outlet</i> (m)	Perbandingan
1	K1	J1 = 0,814	P1 = 0,112	0,138 : 1

2	K2	J1 = 0,814 J2 = 0,077 Total = 0,891	P1 = 0,112	0,126 : 1
3	B1	3 x J1 = 2,422	P1 = 0,112	0,046 : 1
4	B2	2 x J1 = 1,628 J2 = 0,077 Total = 1,705	P1 = 0,112	0,066 : 1
5	B3	2 x J1 = 1,628 PJ = 0,189 Total = 1,817	P1 = 0,112	0,062 : 1

Rasio bukaan antara *inlet* dan *outlet* pada unit Rumah Susun Industri Dalam Blok A **kurang baik** karena tidak efektif untuk meningkatkan kecepatan gerak udara di dalam unit karena hasil perbandingan *inlet* dan *outlet*nya dibawah 1:1 menyebabkan tidak terjadinya peningkatan kecepatan udara yang masuk sehingga kenyamanan termal pada unit tidak dapat tercapai.

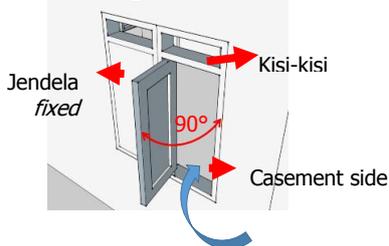
### 3.2.5 Tipe bukaan

Tabel 4. Tipe Bukaan pada unit

Tipe Bukaan					
	P1	PJ	J1	J2	K
Unit	K1, K2, B1, B2, B3	B3	K1, K2, B1, B2, B3	K2, B2	K1, K2, B1, B2, B3

Bukaan udara masuk (*inlet*) pada unit Rusun di dominasi oleh tipe bukaan *fixed* sehingga udara hanya dapat masuk dari kisi di atas bukaan mengakibatkan udara yang masuk ke dalam unit tidak optimal dan **kurang baik**.

### 3.2.6 Pengarah bukaan



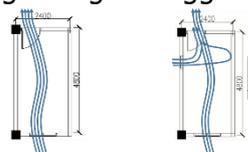
*Casement side hung* yaitu bagian jendela yang memiliki pengarah yang **cukup baik** karena dapat dibuka menyamping dengan sudut kemiringan adalah 90° sehingga udara lurus dapat berbelok dan masuk ke dalam unit hunian, jenis ini hanya terdapat pada tipe jendela J1.

Gambar 18. Pengarah bukaan pada desain bukaan J1

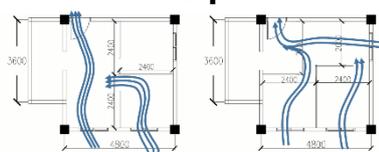
### 3.2.7 Jalur sirkulasi dan penghalang

Jalur sirkulasi udara antara *inlet* dan *outlet* pada Rusun adalah koridor, udara yang keluar dari unit akan melewati koridor.

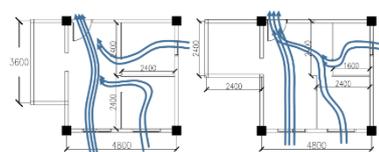
Lokasi *inlet* dan *outlet* yang berhadapan arah gerak udaranya akan lurus sehingga ruangan yang tidak di beri penghalang tidak akan mendapat aliran udara yang optimal, sebaliknya *inlet* dan *outlet* yang berhadapan namun tehalang dinding maka aliran udaranya akan berbelok dan arah gerak udara akan optimal. Sebagian besar unit hunian memiliki penghalang sehingga arah gerak udara **cukup baik**.



Gambar 19. Aliran udara di unit hunian K1 (kiri) dan K2 (kanan)

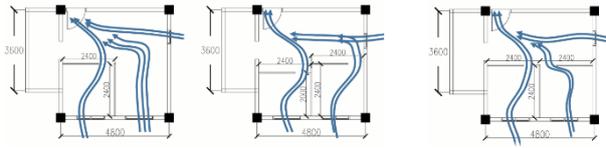


Gambar 20. Aliran udara di unit hunian B1 sekat A dan B

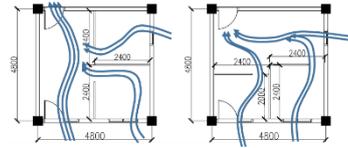


Gambar 21. Aliran udara di unit hunian B2 sekat A dan B

*Penghawaan Alami Terkait Sistem Ventilasi Terhadap Kenyamanan Termal Rumah Susun Industri Dalam*



**Gambar 22. Aliran udara di unit hunian B2 sekat C, D dan E**



**Gambar 23. Aliran udara di unit hunian B3 sekat A dan B**

**3.3 Faktor Kenyamanan Termal**

Berikut ini faktor kenyamanan termal:

**3.3.1 Arah dan Kecepatan Gerak Udara**

Dari hasil analisis yang di korelasikan dengan teori, arah dan kecepatan gerak udara pada bangunan Rumah Susun Industri Dalam Blok A di atas kecepatan ideal udara (0,6 m/s s/d 1,5 m/s) (lih. tabel 5). Hasil analisis menunjukkan arah dan kecepatan gerak udara pada bangunan tersebut **belum ideal** untuk mendukung tercapainya kenyamanan termal.

**Tabel 5. Hasil Kecepatan udara (m/s) Rumah Susun Industri Dalam Blok A pada tanggal 31 Oktober 2015 pukul 12.00-15.00 dan pukul 15.00-18.00**

Lantai	Kode unit		T.01	T.02	T.03	T.04
1	1.B2A	Siang	0,3	0,1	0,2	0
		Sore	0,1	0,1	0,2	0
	1.B2B	Siang	0,2	0	0,1	0
		Sore	0,2	0	0,1	0
	1.B2C	Siang	0,2	0	0,1	0
		Sore	0,1	0	0,1	0
	1.B2D	Siang	0,2	0,2	0,1	0,1
		Sore	0,1	0,1	0,1	0,1
	1.B3A	Siang	0,3	0	0,2	0
		Sore	0,1	0	0	0
	1.B3B	Siang	0,7	0,2	0,3	0,2
		Sore	0,6	0,2	0,2	0,1
3	3.K1A	Siang	0,1	0,5	0,6	-
		Sore	0,1	0,3	0,4	-
	3.K2A	Siang	0,6	0,6	0,6	0,7
		Sore	0,4	0,5	0,5	0,6
	3.K2B	Siang	0,7	1,0	0,9	1,2
		Sore	0,5	0,8	0,8	1,0
	3.B1A	Siang	0,2	0,5	0,3	0,3
		Sore	0,1	0,4	0,2	0,2
	3.B1B	Siang	0,4	0,3	0,2	0,4
		Sore	0,3	0,2	0,2	0,4
	3.B2A	Siang	0,2	0,5	0,3	0,3
		Sore	0,1	0,1	0,1	0,1
3.B2B	Siang	0,2	0,6	0,5	0,4	
	Sore	0,1	0,1	0,1	0,1	
4	4.K1A	Siang	0,8	0,2	0,9	-
		Sore	0,4	0,2	0,5	-
	4.K2A	Siang	0,6	0,7	0,7	0,7
		Sore	0,3	0,4	0,4	0,3
	4.K2B	Siang	0,9	0,9	1,0	0,9
		Sore	0,7	0,2	0,8	0,5
	4.B1A	Siang	0,7	0,9	0,7	0,5
		Sore	0,2	0,7	0,3	0,3
	4.B1B	Siang	0,8	0,4	0,2	0,3
		Sore	0,5	0,3	0,2	0,2
	4.B2A	Siang	0,3	0,6	0,7	0,4
		Sore	0,2	0,3	0,6	0,3
4.B2B	Siang	1,1	1,1	1,0	0,7	
	Sore	0,7	0,8	0,7	0,4	

**Tabel 6. Kondisi suhu udara (°C) Rumah Susun Industri Dalam Blok A pada siang (pukul 12.00-15.00) dan sore (pukul 15.00-18.00).**

Lantai	Kode unit		T.01	T.02	T.03	T.04
1	1.B2A	Siang	28,30	28,10	28,00	28,30
		Sore	28,00	27,80	27,80	27,90
	1.B2B	Siang	28,20	28,00	28,00	28,40
		Sore	27,90	27,80	27,70	28,20
	1.B2C	Siang	28,00	27,90	28,10	28,30
		Sore	27,80	27,40	27,80	28,00
	1.B2D	Siang	28,10	28,10	28,00	28,00
		Sore	27,80	27,80	27,80	27,70
	1.B3A	Siang	30,10	29,10	29,20	29,90
		Sore	29,70	28,90	28,80	29,60
	1.B3B	Siang	27,90	28,10	28,00	27,70
		Sore	27,60	27,80	27,60	27,50
3	3.K1A	Siang	28,80	28,60	-	-
		Sore	28,30	28,30	-	-
	3.K2A	Siang	28,50	28,50	-	-
		Sore	28,20	28,20	-	-
	3.K2B	Siang	28,50	28,50	-	-
		Sore	28,20	28,20	-	-
	3.B1A	Siang	28,60	28,70	28,70	28,50
		Sore	28,40	28,40	28,50	28,40
	3.B1B	Siang	28,50	28,70	28,70	28,60
		Sore	28,40	28,50	28,50	28,30
	3.B2A	Siang	28,30	28,70	28,50	28,10
		Sore	28,00	28,60	28,20	27,90
3.B2B	Siang	28,30	28,40	28,50	28,20	
	Sore	28,00	28,60	28,20	27,90	
4	4.K1A	Siang	28,70	28,60	-	-
		Sore	28,40	28,40	-	-
	4.K2A	Siang	28,60	28,60	-	-
		Sore	28,30	28,30	-	-
	4.K2B	Siang	28,50	28,50	-	-
		Sore	28,20	28,20	-	-
	4.B1A	Siang	28,50	28,30	28,40	28,40
		Sore	28,20	28,20	28,10	28,10
	4.B1B	Siang	28,50	28,50	28,40	28,60
		Sore	28,40	28,40	28,20	28,30
	4.B2A	Siang	28,10	28,80	28,50	28,40
		Sore	27,80	28,50	28,20	28,10
4.B2B	Siang	28,70	28,80	28,80	28,50	
	Sore	28,40	28,50	28,50	28,20	

**3.3.2 Suhu Udara**

Nilai semua suhu udara pada bangunan Rumah Susun Industri Dalam Blok A di atas antara suhu ideal  $24\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 26\text{ }^{\circ}\text{C}$  (lih. tabel 6). Hasil analisis menunjukkan suhu udara pada bangunan tersebut **belum ideal** untuk mendukung tercapainya kenyamanan termal.

**3.3.3 Kelembapan Udara**

Nilai rata-rata kelembapan udara pada bangunan Rumah Susun Industri Dalam Blok A berkisar antara 40-60% (lih. tabel 7). Hasil analisis menunjukkan kelembapan udara pada bangunan tersebut sudah **ideal** untuk mencapai kenyamanan termal.

**Tabel 7. Kondisi kelembapan udara (°C) Rumah Susun Industri Dalam Blok A pada siang (pukul 12.00-15.00) dan sore (pukul 15.00-18.00).**

Lantai	Kode unit		T.01	T.02	T.03	T.04
1	1.B2A	Siang	43,00	46,50	44,20	46,10
		Sore	51,00	53,20	51,40	52,10
	1.B2B	Siang	43,10	46,00	45,10	44,20
		Sore	54,10	56,60	55,10	54,10
	1.B2C	Siang	48,50	48,90	48,20	50,20
		Sore	56,00	56,10	55,80	57,00
	1.B2D	Siang	47,50	48,00	48,40	48,20
		Sore	48,10	48,40	50,50	56,10
	1.B3A	Siang	41,20	47,30	46,60	45,00
		Sore	52,20	53,60	53,80	54,10
	1.B3B	Siang	51,10	50,10	50,00	50,60
		Sore	57,00	57,10	56,00	57,10
3	3.K1A	Siang	46,70	46,70	-	-
		Sore	55,40	55,30	-	-
	3.K2A	Siang	49,20	49,20	-	-
		Sore	56,70	56,70	-	-
	3.K2B	Siang	53,40	53,40	-	-
		Sore	56,50	56,50	-	-
	3.B1A	Siang	43,50	43,70	44,10	43,90
		Sore	54,20	54,10	55,40	56,10
	3.B1B	Siang	46,70	46,80	46,90	47,60
		Sore	55,10	55,40	54,90	54,30
	3.B2A	Siang	46,20	43,60	48,80	47,10
		Sore	57,30	56,80	56,80	57,10
3.B2B	Siang	47,10	48,00	48,10	47,00	
	Sore	56,10	54,20	54,90	55,20	
4	4.K1A	Siang	45,10	46,70	-	-
		Sore	57,40	57,20	-	-
	4.K2A	Siang	44,70	44,70	-	-
		Sore	59,30	59,30	-	-
	4.K2B	Siang	44,00	44,00	-	-
		Sore	50,00	50,10	-	-
	4.B1A	Siang	45,70	47,80	45,20	45,20
		Sore	57,30	57,10	56,40	55,40
	4.B1B	Siang	46,70	46,90	45,20	47,00
		Sore	53,10	53,30	53,00	53,10
	4.B2A	Siang	44,30	44,30	44,60	44,90
		Sore	56,10	56,30	56,30	57,10
4.B2B	Siang	43,20	43,60	43,50	44,00	
	Sore	49,70	49,50	49,50	49,60	

### 3.3.4 Laju Udara (*Air Flow*)

Dari hasil analisis yang di korelasikan dengan teori, laju udara (*air flow*) pada bangunan Rumah Susun Industri Dalam Blok A di atas standar (lih. tabel 7). Hasil analisis menunjukkan laju udara (*air flow*) pada bangunan tersebut **belum ideal** untuk mendukung tercapainya kenyamanan termal.

**Tabel 7. Perhitungan laju udara (m<sup>3</sup>/s) Lantai 1 Rumah Susun Industri Dalam Blok A pada tanggal 31 Oktober 2015 pukul 12.00–15.00 dan 15.00-18.00**

Kode unit	Titik ukur	Tipe bukaan	V (m <sup>3</sup> )	N (ACH/ pergantian udara per jam)	
				Pergantian udara (ACH) pagi	Pergantian udara (ACH) sore
1.B2A (sekat A)	T.05	J1	32,26	10,3228	10,3228
	T.06	J2	16,13	0,0000	0,0000
	T.07	J1	16,13	20,6455	10,3228
1.B2B (sekat A)	T.05	J1	32,26	10,3228	10,3228
	T.06	J2	16,13	0,0000	0,0000
	T.07	J1	16,13	20,6455	10,3228
1.B2C (sekat B)	T.05	J1	37,63	13,2745	8,8496
	T.06	J2	10,75	1,4651	1,4651
	T.07	J1	16,13	20,6455	10,3228
1.B2D (sekat C)	T.05	J2	48,38	0,9766	0,6511
	T.06	J1	48,38	10,3249	6,8833
	T.07	J1	16,13	20,6455	10,3228
1.B3A (sekat A)	T.05	PJ	32,26	5,9920	3,5952
	T.06	J1	16,13	0,0000	0,0000
	T.07	J1	16,13	0,0000	0,0000
1.B3B (sekat B)	T.05	J1	37,63	3,0821	3,0821
	T.06	J1	16,13	82,5816	72,2589
	T.07	PJ	10,75	46,4651	30,9779

### 3.3.5 Pergantian Udara (*Air Changes*)

Dari hasil analisis yang di korelasikan dengan teori, pergantian udara (*air changes*) pada bangunan Rumah Susun Industri Dalam Blok A di atas standar (lih. tabel 8). Hasil analisis menunjukkan pergantian udara (*air changes*) pada bangunan tersebut **belum ideal** untuk mendukung tercapainya kenyamanan termal.

**Tabel 8. Perhitungan pergerakan udara (ACH) Lantai 1 Rumah Susun Industri Dalam Blok A pada tanggal 31 Oktober 2015 pukul 12.00–15.00 dan 15.00-18.00**

Kode unit	Titik ukur	Tipe bukaan	V (m <sup>3</sup> )	N (ACH/ pergantian udara per jam)	
				Pergantian udara (ACH) pagi	Pergantian udara (ACH) sore
1.B2A (sekat A)	T.05	J1	32,26	10,3228	10,3228
	T.06	J2	16,13	0,0000	0,0000
	T.07	J1	16,13	20,6455	10,3228
1.B2B (sekat A)	T.05	J1	32,26	10,3228	10,3228
	T.06	J2	16,13	0,0000	0,0000
	T.07	J1	16,13	20,6455	10,3228
1.B2C (sekat B)	T.05	J1	37,63	13,2745	8,8496
	T.06	J2	10,75	1,4651	1,4651
	T.07	J1	16,13	20,6455	10,3228
1.B2D (sekat C)	T.05	J2	48,38	0,9766	0,6511
	T.06	J1	48,38	10,3249	6,8833
	T.07	J1	16,13	20,6455	10,3228
1.B3A (sekat A)	T.05	PJ	32,26	5,9920	3,5952
	T.06	J1	16,13	0,0000	0,0000
	T.07	J1	16,13	0,0000	0,0000
1.B3B (sekat B)	T.05	J1	37,63	3,0821	3,0821
	T.06	J1	16,13	82,5816	72,2589
	T.07	PJ	10,75	46,4651	30,9779

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis faktor desain, faktor sistem ventilasi, dan faktor kenyamanan termal dari laporan seminar penghawaan alami terkait sistem ventilasi terhadap kenyamanan termal bangunan Rumah Susun Industri Dalam ini, dapat diambil kesimpulan:

- (1) Meskipun tatanan massa dan pergerakan udara yang melalui bangunan Blok A sudah baik namun luasan unit dan desain bukaan belum baik dan kurang mendukung kenyamanan termal di dalamnya.
- (2) Secara keseluruhan faktor sistem ventilasi dininjau dari orientasi bukaan, lokasi bukaan, dimensi bukaan, rasio bukaan, tipe bukaan, pengarah bukaan, dan jalur sirkulasi serta penghalang pada Rumah Susun Industri Dalam Blok A kurang mendukung untuk mendapatkan kenyamanan termal.
- (3) Meskipun kelembapan udara bangunan Blok A sudah baik namun arah dan kecepatan udara, suhu udara, laju udara (*air flow*), serta pergantian udara (*air changes*) belum baik dan kurang mendukung kenyamanan termal di dalamnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Banyak bantuan dan bimbingan yang telah didapatkan penyusun dalam penyusunan laporan seminar ini. Oleh karena itu kiranya sangat pantas apabila penyusun mengucapkan terima kasih kepada Ibu Nur Laela Latifah, ST., MT selaku dosen pembimbing 1, Bapak I Putu Widjaja Thomas Brunner, Ir., MM selaku dosen pembimbing 2, dan Bapak Dudung selaku pengelola bangunan Blok A Rumah Susun Industri Dalam, serta kedua orang tua yang selalu mendukung.

## DAFTAR RUJUKAN

- Boutet, Terry S. 1987. Controlling Air Movement – A Manual for Architect and Builder. McGraw-Hill Book Company.
- Ching, Francis D. K.. 2008. Arsitektur Bentuk Ruang dan Tatanan. Jakarta: Erlangga
- Latifah, Nur Laela. 2015. Fisika Bangunan 1. Jakarta: Griya Kreasi
- Staff Site Universitas Negeri Yogyakarta, [Staff.uny.ac.id/sites/default/files/03\\_elemen\\_site\\_masa\\_dan\\_ruang\\_0.pdf](http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/03_elemen_site_masa_dan_ruang_0.pdf), diakses 24 Oktober 2015
- Tim Penyusun, (1993), SK SNI T-14-1993-03 Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung, Bandung, Yayasan LPMB – Departemen Pekerjaan Umum.
- Tommy Yanuar. Apartemen dan Kantor Sewa di Kabupaten Sleman, E-journal UAJY, Text (Bab II). <http://e-journal.uajy.ac.id/5717/3/TA213391.pdf>, diakses 26 September 2015.
- Cashins & Associates Blog. Industrial Hygiene: What is Relative Humidity and Why is it Important?.<http://cdn2.hubspot.net/hub/137863/file-1464675250-gif/images/g184.gif?t=1444828858855>, diakses 18 Oktober 2015
- <http://ecorenovator.org/forum/conservation/891-diy-ventilation-heat-exchanger-5.html>, diakses 24 Oktober 2015
- [http://primakencana.blogspot.co.id/2012\\_06\\_01\\_archive.html](http://primakencana.blogspot.co.id/2012_06_01_archive.html), diakses 24 Oktober 2015
- <http://www.edsl.net/main/Software/Designer/NVandMM.aspx>, diakses 24 Oktober 2015
- [http://www.peshk.panasonic.hk/sizing\\_of\\_vent.aspx](http://www.peshk.panasonic.hk/sizing_of_vent.aspx), diakses 24 Oktober 2015