

PANDUAN PENGGUNA BANGUNAN GEDUNG HIJAU JAKARTA

VOL. 2

# SISTEM PENGKONDISIAN UDARA & VENTILASI



Pemerintah Provinsi  
DKI Jakarta

Didukung oleh:



**International  
Finance Corporation**  
World Bank Group

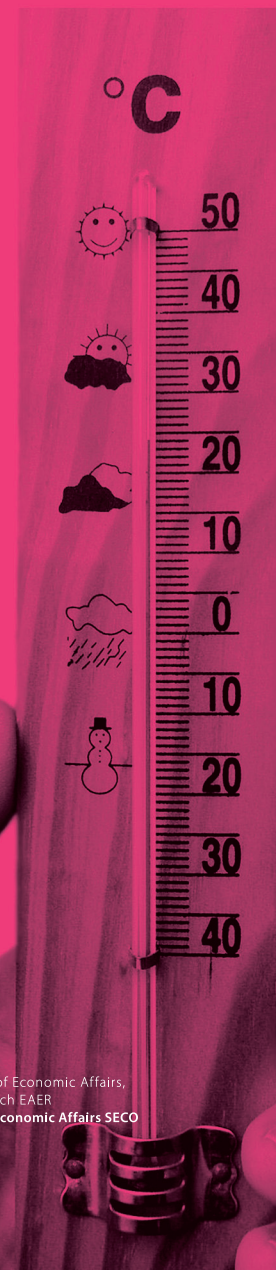
IFC bekerjasama dengan:



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,  
Education and Research EAER  
State Secretariat for Economic Affairs SECO



## PERSYARATAN PERATURAN

### Sistem Pengkondisian Udara (AC)

- AC 01 Setpoint Temperatur
- AC 02 Efisiensi Sistem Pendinginan Minimum
- AC 03 VAV untuk Sistem Pendinginan Pusat
- AC 04 VSD untuk Pompa dan Motor Kipas
- AC 05 Penyekatan Pipa Air Pendingin Minimum

### Sistem Ventilasi (VS)

- VS01 Tingkat Ventilasi Minimal

### Kualitas Udara dalam Ruangan (AQ)

- AQ 01 Sensor Kontrol CO<sub>2</sub>
- AQ 02 Kontrol CO di Ruang Parkir Tertutup
- AQ 03 Bahan Refrigeran Bebas CFC

---

Kalkulasi dilakukan dengan menggunakan kalkulator yang terdapat pada laman <http://greenbuilding.web.id>

Checklist persyaratan peraturan dan daftar dokumen yang diperlukan tersedia pada laman <http://greenbuilding.web.id>



PANDUAN PENGGUNA BANGUNAN GEDUNG HIJAU JAKARTA  
VOL. 2

# SISTEM PENGKONDISIAN UDARA & VENTILASI

## *daftar isi*

<b>PENDAHULUAN</b>	<b>2</b>
<hr/>	
<b>01 PERSYARATAN PERATURAN</b>	<b>6</b>
<hr/>	
<b>02 RINCIAN PERSYARATAN PERATURAN</b>	<b>7</b>
<hr/>	
<b>03 CONTOH TERAPAN PRAKTIS LAINNYA</b>	<b>24</b>
Mengurangi Beban Pendinginan	24
<i>Commissioning</i>	25
Zona Termal	26
<i>Absorption Chillers</i>	28
Penggerak Magnetik pada Kompresor	28
Penentuan Kapasitas Pendingin ( <i>Chillers Sizing</i> )	29
Pemeliharaan	31
Sistem Otomasi Gedung ( <i>Building Automation System - BAS</i> )	33
Pipa dan Saluran	34
Rancangan dan Operasi Menara Pendingin	36
Ventilasi Alami	37
Pemulihan Energi ( <i>Energy Recovery</i> )	40
Kipas Angin Langit-langit ( <i>Ceiling Fans</i> )	42

# Pengkondisian Udara, Kualitas Udara, dan Ventilasi: Pendahuluan

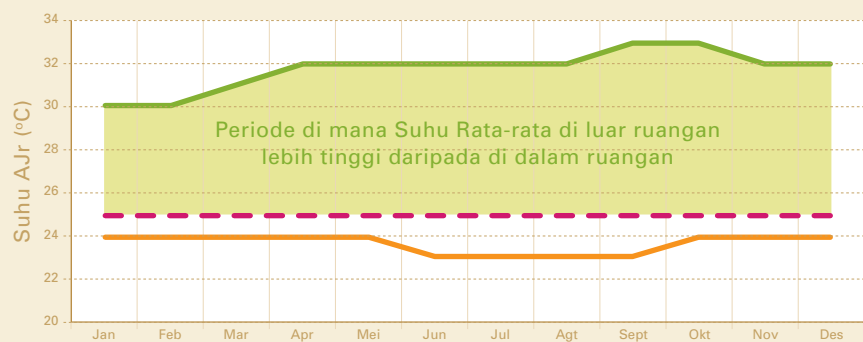
Kebanyakan bangunan modern dirancang untuk sepenuhnya atau sebagian besar tertutup, melindungi penghuninya dari kontak langsung dengan lingkungan luar. Sistem pengkondisian udara digunakan untuk mengatur suhu udara dan kelembaban yang nyaman di dalam ruangan. Hal ini kontras dengan arsitektur tradisional Indonesia, yang sangat bergantung pada sistem peneduh yang melindungi ruangan dari terik sinar matahari, serta adanya hembusan angin yang bebas melalui bangunan.

Dalam iklim tropis Jakarta, kenyamanan termal terutama disediakan oleh pendinginan suhu ruangan, penurunan kadar kelembaban udara yang dipasok ke dalam ruangan, dan memastikan pasokan udara bersih. Kondisi “nyaman” seperti yang didefinisikan oleh standar bagi Jakarta meliputi suhu ruangan 25°C dan 54% sampai 66% kelembaban relatif. Sebagaimana **Gambar 1** dan **2** menunjukkan, kondisi luar di Jakarta sebagian besar di atas standar ini, yang membutuhkan pendinginan mekanik dan pengurangan kelembaban. Ini menyebabkan kebutuhan yang cukup tinggi untuk AC sepanjang tahun.

G A M B A R . 0 1

Rata-rata Suhu di Luar Ruangan Jakarta dibandingkan Suhu Ruangan yang Direkomendasikan

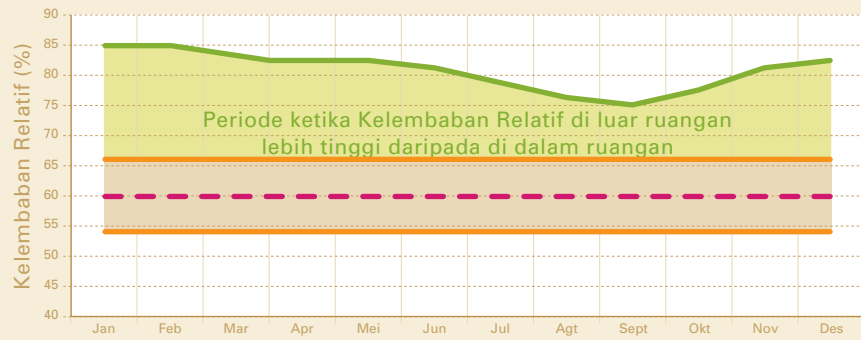
- Suhu Minimum Rata-rata
- Suhu Dalam Ruangan yang Direkomendasikan
- Suhu Maksimum rata-rata



G A M B A R . 0 2

Rata-rata Kelembaban Relatif di Luar Ruangan Jakarta dibandingkan Kelembaban Relatif Dalam Ruangan yang Direkomendasikan

- Kelembaban Relatif di Luar Ruangan
- - - Kelembaban Relatif Dalam Ruangan yang Direkomendasikan

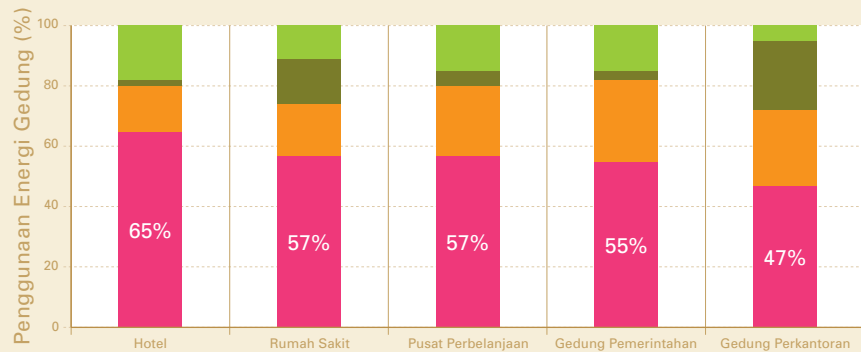


Sebuah studi pada beberapa bangunan Jakarta (**Gambar 3** di bawah) menunjukkan AC sebagai pengguna akhir yang mengkonsumsi energi tertinggi pada semua jenis bangunan yang diteliti.

G A M B A R . 0 3

Penggunaan Energi Bangunan untuk Beberapa Bangunan di Jakarta<sup>1</sup>

- Air Conditioning
- Pencahayaan + outlet
- Lift
- Lainnya



Studi pemodelan energi dan banyak contoh kehidupan nyata juga menunjukkan bahwa langkah-langkah penghematan energi yang berhubungan dengan AC menawarkan beberapa peluang penghematan energi terbaik dengan pengembalian investasi yang sangat menjanjikan.

Karena alasan ini, Pedoman Bangunan Gedung Hijau Jakarta yang baru memberikan banyak penekanan pada pengurangan beban AC dan peningkatan efisiensi sistem.

Diperkirakan bahwa sekitar 1.37 juta metrik ton emisi CO<sub>2</sub>e dapat dikurangi pada tahun 2030 jika semua bangunan baru besar di Jakarta mengikuti peningkatan efisiensi yang diamanatkan dalam pedoman Bangunan Gedung Hijau yang baru<sup>2</sup>.

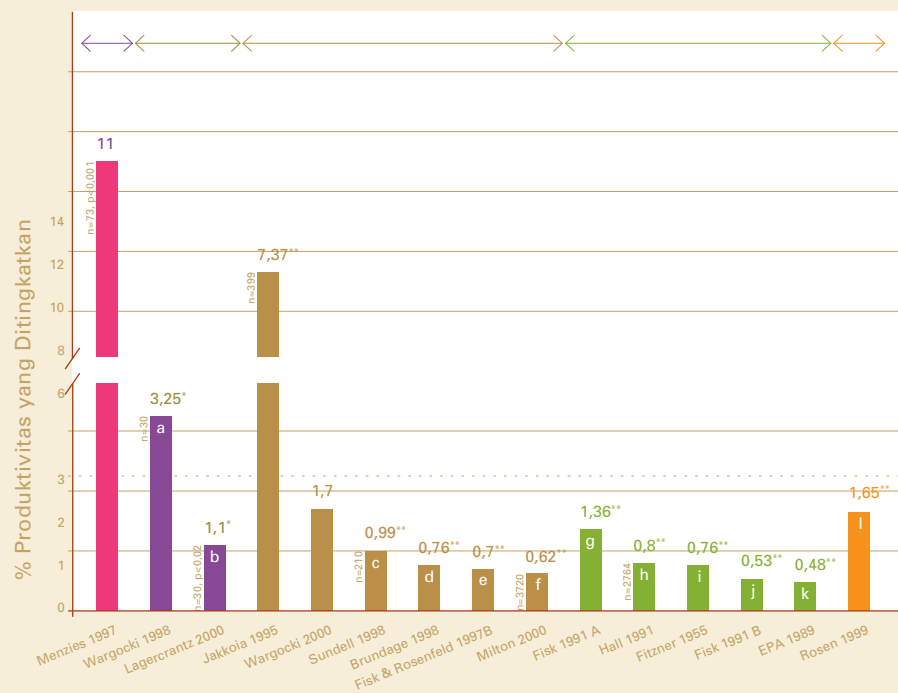
<sup>1</sup> Japan International Cooperation Agency (JICA) Electric Power Development, 2009.  
<sup>2</sup> Analisis sensitivitas IFC untuk Peraturan Bangunan Gedung Hijau Jakarta, 2011.

Memasok udara segar dari luar dan membuang udara pengap dari dalam bangunan atau “sistem ventilasi” adalah elemen yang penting dari sistem pendingin udara. Kata “ventilasi” berasal dari kata Latin *ventus*, yang berarti “angin.” Ventilasi dapat disediakan secara mekanis melalui kipas angin atau secara alami melalui aliran udara dari jendela dan bukaan lainnya. Ini adalah salah satu faktor paling penting untuk menjaga kualitas udara sehat dalam ruangan dan kenyamanan penghuni dalam bangunan karena mengisi ulang oksigen dan menghilangkan kelembaban, bau, asap, panas, dan bakteri di udara.

Dalam banyak studi, peningkatan ventilasi ke tingkat yang dapat diterima telah menunjukkan dampak positif pada kesehatan dan produktivitas penghuni. Tingkat ventilasi yang dapat diterima bervariasi dengan tingkat hunian, kegiatan, dan kontaminasi di dalam ruangan. Peningkatan produktivitas yang ditunjukkan studi ini berkisar dari 0,62% hingga 7,3%. Dalam beberapa kasus, bahkan nilai peningkatan kecil dalam produktivitas jauh melampaui biaya tambahan untuk menyediakan tingkat ventilasi yang tinggi<sup>3</sup>.

G A M B A R . 4  
Peningkatan Kualitas Udara Meningkatkan Produktivitas Individu<sup>4</sup>

- Sistem Ventilasi yang Diatur secara Individual
- Menghilangkan Polutan
- Meningkatkan Tingkat Ventilasi Luar Ruangan
- Memberikan Beban Udara
- Meningkatkan Filterasi



- \* Peningkatan kinerja untuk tugas-tugas khusus yang dikalikan dengan perkiraan pada waktu tugas.
- \*\* Meningkatkan efektivitas ventilasi dihitung relatif terhadap peningkatan produktivitas dari penelitian lain.

- a. 8,5 % peningkatan pada mengetik.
- b. Mengetik, dengan tambahan *proof reading* dan berpikir kreatif.
- c. 33 % pengurangan pada SBS.
- d. 2 hari kerja yang hilang akibat ARD.
- e. 2 % produksi hilang dari SBS.
- f. 35 % pengurangan pada cuti sakit jangka pendek.
- g. 45 % peningkatan efektivitas ventilasi.
- h. 2 hari kerja yang hilang akibat gejala mukosa.
- i. 20 % pengurangan polutan.
- j. 17,8 % peningkatan pada efektivitas ventilasi.
- k. 3 % kerugian produksi yang dilaporkan sendiri.
- l. 55 % pengurangan ketidakhadiran.

<sup>3</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory. Indoor Air Quality Scientific Findings Resource Bank. Health and Economic Impacts of Building Ventilation. (<http://www.iaqscience.lbl.gov/vent-summary.html>)

<sup>4</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory. Home Interview of IAQ Acknowledgement. Indoor Air Quality Scientific Findings Resource Bank. (<http://www.iaqscience.lbl.gov/vent-summary.html>)

- Loftness, Vivian FAIA, Hartkopf, Volker, Ph.D., Gurtekin, Beran, Ph.D., Hansen, David, Hitchcock, Robert Ph.D., U.S. DOE, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Advanced Building Systems Integration Consortium (ABSIC), Linking Energy to Health and Productivity in the Built Environment. Evaluating the Cost-Benefits of High Performance Building and Community Design for Sustainability, Health, and Productivity. ([http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/207\\_Loftness\\_PA876.pdf](http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/207_Loftness_PA876.pdf))
- Olesen W. Bjarne. Indoor Environment - Health - Comfort and Productivity. (<http://www.ashrae.org.sg/Olesen-Health-comfort-productivity.pdf>)

Meningkatkan tingkat ventilasi mekanik membutuhkan kipas angin dengan kecepatan putaran lebih tinggi atau lebih lama. Selain itu, jika udara luar yang dibawa masuk lebih hangat dan lebih lembab daripada yang diinginkan, energi digunakan untuk mendinginkan dan menghilangkan kelembabannya. Ini dapat meningkatkan penggunaan energi untuk AC dan sistem ventilasi. Oleh karena itu, optimasi tingkat ventilasi secara cermat harus dilakukan untuk menghindari pemborosan energi. Sebuah sistem ventilasi yang dirancang dengan baik menyediakan ventilasi yang memadai sekaligus membatasi penggunaan energi dan menghindari ketidaknyamanan penghuni.

Pentingnya ventilasi disorot dalam **“Peraturan Gubernur Daerah Khusus Ibukota Provinsi Jakarta Nomor 54 Tahun 2008 Tentang Standar Kualitas Udara Dalam Ruangan (KUDR)”**, yang berisi daftar standar kualitas udara dalam ruangan untuk berbagai jenis bangunan.

Ruangan tertutup yang dihuni, yang tidak berventilasi baik, dapat memiliki akumulasi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) yang merugikan kesehatan manusia. Pedoman baru menyikapi hal ini dengan mewajibkan kontrol otomatis ventilasi dalam ruangan yang padat penghuni. Kontrol serupa di tempat parkir tertutup juga diperlukan untuk mencegah penumpukan karbon monoksida (CO) dari knalpot kendaraan.

# 01 *persyaratan peraturan*

## MENGACU PADA PASAL 8, 9, DAN 18

- 1 **AC01** - Minimum 25°C dan kelembaban relatif 60%±10% untuk ruangan yang didinginkan dan dihuni.
- 2 **AC02** - Efisiensi sistem pendinginan minimum sesuai SNI 6390-2011.
- 3 **AC03** - *Variable Air Volume (VAV)* untuk sistem pendinginan terpusat.
- 4 **AC04** - *Variable Speed Drives (VSD)* untuk pompa air pendingin dan kipas menara pendingin (*cooling tower*).
- 5 **AC05** - Isolasi pipa air pendingin sesuai SNI 03-6390 2011.
  
- 6 **VS01** - Tingkat ventilasi minimum sesuai Bagian 4.4 dari SNI 03-6572 2001.
- 7 **AQ01** - Kontrol CO<sub>2</sub> dari udara luar di beberapa ruangan.
- 8 **AQ02** - Kontrol CO dari ventilasi di tempat parkir tertutup.
- 9 **AQ03** - *Chiller* pendingin untuk bebas dari *Chloro Fluoro Carbons (CFC)*.



# 02 *rincian persyaratan peraturan*

## P E R S Y A R A T A N P E R A T U R A N 1

**Sistem mekanis ruangan yang dihuni harus dirancang untuk mempertahankan suhu minimum 25°C (dua puluh lima) dan kelembaban relatif 60%±10% (yaitu antara 54% dan 66%).** Persyaratan ini berlaku untuk ruangan dengan AC dan yang dihuni saja.

**D A M P A K** Suhu dalam ruangan di Jakarta biasanya diatur dalam rentang 22-26°C, meskipun ada beberapa kasus dengan pengaturan termostat sampai serendah 20°C. Pengaturan suhu rendah seperti ini banyak dilakukan di pusat perbelanjaan, hotel, dan kantor kelas atas di Jakarta.

Studi simulasi energi oleh IFC menunjukkan bahwa peningkatan rata-rata pengaturan suhu sebesar 2°C dapat menghemat hingga 11% dari total penggunaan energi di gedung-gedung Jakarta.

Karena kenyamanan manusia tergantung pada kecepatan angin bersama dengan suhu ruangan, kipas angin langit-langit (*ceiling fan*) dapat mempertahankan kondisi kenyamanan yang dapat diterima bahkan jika suhu ruangan meningkat. Melalui berbagai penelitian terbukti bahwa sebagian besar penghuni dapat mentolerir suhu lebih tinggi apabila memperoleh hembusan angin.

Kipas angin langit-langit menjadi sarana sangat efektif untuk meningkatkan sirkulasi dan kecepatan udara selama lebih dari satu abad. Namun, banyak bangunan baru ber-AC di Jakarta tidak memiliki kipas angin langit-langit dan semata-mata bergantung pada sistem pengaturan suhu bagi sirkulasi udara. Kipas angin langit-langit dapat menjadi sarana menghemat energi yang sangat efektif terutama di iklim tropis seperti Jakarta, di mana tingkat kelembabannya relatif tinggi.

Studi simulasi menunjukkan bahwa di negara bagian tropis Florida di Amerika Serikat, menggunakan kipas angin langit-langit yang dikombinasikan dengan peningkatan suhu rumah sebesar 1°C akan menghasilkan penghematan bersih sekitar 14% dalam penggunaan energi pendinginan tahunan (termasuk penggunaan energi untuk kipas angin langit-langit dan memperhitungkan pelepasan panas internal).<sup>5</sup>

Beberapa pemerintah telah menetapkan kebijakan pengaturan suhu bagi bangunan. Pemerintah Hong Kong mendorong pengaturan suhu 25,5°C selama musim panas<sup>6</sup>. Taipei (Taiwan) belum lama ini mengesahkan undang-undang yang mewajibkan semua bangunan untuk mempertahankan suhu di atas 26°C.

Kementerian Lingkungan Hidup Jepang (MOE) bahkan merekomendasikan agar suhu ruangan diatur pada suhu 28°C sebagai bagian dari kampanye "*Cool Biz*". Kampanye ini dimulai sebagai akibat dari kelangkaan listrik di negara ini dan yang belum lama ini diperburuk oleh bencana nuklir Fukushima yang berakibat pada penutupan pembangkit listrik tenaga nuklir. Semua instansi pemerintah, bisnis, dan masyarakat umum Jepang diminta untuk mengatur pendingin udara kantor dan rumah pada 28°C (82°F) selama musim panas sampai bulan September. Kelihatannya, permintaan ini tampak sederhana, tetapi dalam budaya Jepang hal ini tidak dapat diterima untuk bekerja tanpa menggunakan pakaian bisnis. Oleh karena itu, fokus utama dari kampanye ini adalah mendorong orang untuk "tidak menggunakan pakaian resmi" dan memakai baju tipis dan longgar yang nyaman untuk bekerja. Dalam jajak pendapat nasional tahun 2009 yang diselenggarakan oleh Kantor Kabinet Jepang, 57% dari 2.000 responden survei melaporkan bahwa *Cool Biz* telah diterapkan di tempat kerja mereka. Di wilayah yang dilayani oleh Tokyo Electric Power Company (TEPCO), terjadi pengurangan sekitar 11,8% (penyesuaian suhu) dalam penggunaan daya listrik rumah tangga selama musim panas 2011 (Juli dan Agustus) dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Kebijakan ini dapat menghindari pemadaman listrik dan *brownouts*.<sup>7</sup>

<sup>5</sup> James, Patrick W, Sonne, Jeffrey K, Vieira, Robin K, Parker, Danny S, Anello, Michael T. Are Energy Savings Due to Ceiling Fans Just Hot Air? (<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/html/FSEC-PF-306-96/>)

<sup>6</sup> Electrical and Mechanical Service Department. (<http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/conservation/files/25.5.pdf>)

<sup>7</sup> Tools of Change. Cool Biz, Japan. (<http://www.toolsofchange.com/en/case-studies/detail/662/>)

Informasi lebih lanjut tentang dampak pengaturan kenaikan suhu dapat ditemukan dalam dokumen-dokumen ini:

- Miller, Wendy; Kennedy Rosemary; Loh, Susan. Benefits and Impacts of Adjusting Cooling Set points in Brisbane - How office workers responded. ([http://eprints.qut.edu.au/55120/1/Miller\\_Kennedy\\_and\\_Loh\\_Jan012.pdf](http://eprints.qut.edu.au/55120/1/Miller_Kennedy_and_Loh_Jan012.pdf))
- British Council for Offices. 2008. 24°C Study Comfort Productivity and Energy Consumption. ([http://www.bco.org.uk/uploaded/24\\_Degrees\\_Full\\_Report\\_FEB\\_8.pdf](http://www.bco.org.uk/uploaded/24_Degrees_Full_Report_FEB_8.pdf))

## P E R S Y A R A T A N P E R A T U R A N 2

Semua sistem pendingin diwajibkan untuk memiliki efisiensi minimum sesuai dengan tabel berikut dari SNI 6390-2011. Harap dicatat bahwa ini adalah efisiensi beban penuh (*full load*).

T A B E L . 0 1  
Efisiensi Minimum  
Peralatan Pendingin Listrik<sup>8</sup>

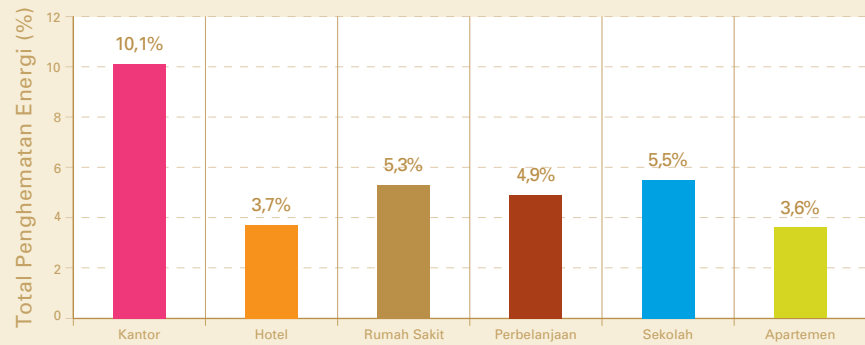
J E N I S M E S I N P E N D I N G I N	E F I S I E N S I M I N I M U M	
	COP	KW/TR
Split < 65.000 BTU/h	2,70	1,303
Variable Refrigerant Value	3,70	0,951
Split Duct	2,60	1,353
Air Cooled Chiller < 150 TR (recip)	2,80	1,256
Air Cooled Chiller < 150 TR (screw)	2,90	1,213
Air Cooled Chiller > 150 TR (recip)	2,80	1,256
Air Cooled Chiller > 150 TR (screw)	3,00	1,172
Water Cooled Chiller < 150 TR (recip)	4,00	0,879
Water Cooled Chiller < 150 TR (screw)	4,10	0,858
Water Cooled Chiller > 150 TR (recip)	4,26	0,826
Water Cooled Chiller > 150 TR (screw)	4,40	0,799
Water Cooled Chiller > 300 TR (centrifugal)	6,05	0,581

**D A M P A K** Karena sistem AC adalah pengguna energi terbesar tunggal di sebagian besar bangunan di Jakarta, peningkatan efisiensi sistem AC memberikan peluang penghematan energi yang sangat besar.

<sup>8</sup> SNI 6390-2011.

## G A M B A R . 0 5

Potensi Penghematan Energi karena Peningkatan Efisiensi Sistem Pendingin<sup>9</sup>



Menurut sebuah makalah penelitian US Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), konsumsi energi AC perumahan di Indonesia diproyeksikan akan meningkat hampir tiga kali lipat pada tahun 2030 dibandingkan dengan tahun 2005. Dalam rangka mengendalikan peningkatan konsumsi energi, efisiensi perlu ditingkatkan dalam proporsi yang sama<sup>10</sup>.

Dominasi pertumbuhan efisiensi serupa telah berlaku di Amerika Serikat. Dari tahun 1993 hingga 2005, penghematan energi peralatan AC meningkat hampir 30%, namun konsumsi energi AC rumah tangga masih dua kali lipat selama periode ini<sup>11</sup>.

Persyaratan efisiensi yang diberlakukan saat ini cukup ringan dibandingkan dengan sebagian besar standar dan pedoman internasional, agar mudah untuk diterapkan tanpa peningkatan biaya konstruksi yang signifikan. Versi-versi mendatang dari pedoman direncanakan untuk memiliki persyaratan efisiensi yang sesuai dengan standar internasional dan juga untuk memberikan penghematan energi yang lebih tinggi. Beberapa efisiensi tipikal peralatan yang direkomendasikan ASHRAE 90,1-2010 tercantum di bawah ini.

<sup>9</sup> Analisis sensitivitas IFC untuk Peraturan Bangunan Gedung Hijau Jakarta.

<sup>10</sup> McNeil, Michael A; Letschert, Virginie E - Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory. Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countries and what can be done about it: The Potential of Efficiency in the Residential Sector. (<http://escholarship.org/uc/item/64f9r6wr>)

<sup>11</sup> Cox, Stan. Cooling a Warming Planet: A Global Air Conditioning Surge. ([http://e360.yale.edu/feature/cooling\\_a\\_warming\\_planet\\_a\\_global\\_air\\_conditioning\\_surge/2550/](http://e360.yale.edu/feature/cooling_a_warming_planet_a_global_air_conditioning_surge/2550/))

TABEL 02  
Rekomendasi efisiensi sistem pendingin<sup>12</sup>

JENIS PERALATAN	UKURAN (ton)	PENGHEMATAN MINIMUM (COP)
Pendinginan udara - sistem split dan paket tunggal	5,42 - 11,25	3,28
Pendinginan udara - sistem split	< 5,42	3,81
Pendinginan udara - paket tunggal	< 5,42	3,81
Pendinginan air - split dan paket tunggal	< 5,42	3,55
Pendinginan udara - paket dan split	> 20	2,78
Pendinginan udara dengan kondensor	< 150	2,80
Pendinginan air	< 75	4,51
Pendinginan air	75 - 100	4,54
Pendinginan air	150 - 300	5,17
Pendinginan air	> 300	5,67

Informasi lebih lanjut tentang desain sistem pendingin tersedia dalam dokumen-dokumen sebagai berikut:

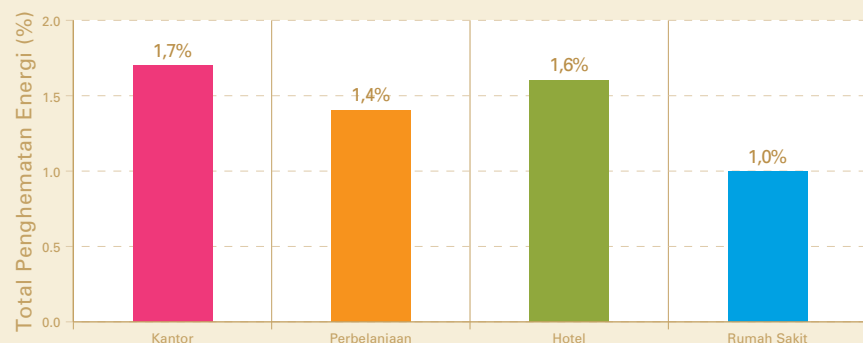
- Energy Design Resources. 2009. Chilled Water Plant Design Guide. ([http://www.taylor-engineering.com/downloads/cooltools/EDR\\_DesignGuidelines\\_CoolToolsChilledWater.pdf](http://www.taylor-engineering.com/downloads/cooltools/EDR_DesignGuidelines_CoolToolsChilledWater.pdf))
- McQuay International. 2001. Application Guide - Chiller Plant Design. (<http://www.mcquay.ru/downloads/wsc%20design.pdf>)

## PERSYARATAN PERATURAN 3

Untuk sistem pengkondisian udara (AC) yang terpusat harus digunakan sistem *Variable Air Volume* (VAV).

**DAMPAK** Sistem *Variable Air Volume* dapat menghemat energi operasional antara 1% dan 2% untuk beberapa tipikal bangunan di Jakarta, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.

GAMBAR 06  
Penghematan Energi karena VAV<sup>13</sup>



<sup>12</sup> ASHRAE 90.1- 2010.

<sup>13</sup> Analisis sensitivitas IFC untuk Peraturan Bangunan Gedung Hijau Jakarta.

Dalam sistem *Variable Air Volume* (VAV), pendinginan ruangan dikontrol dengan memvariasikan tingkat pasokan aliran udara dengan suhu udara yang konstan. Sistem ini menyesuaikan *output* kipas angin secara tepat sesuai dengan perubahan beban. Meskipun sistem VAV jarang ditemukan dalam sistem zona tunggal, sistem ini lazim diterapkan pada sistem multi zona yang besar, yang penerapannya mungkin menjadi lebih ekonomis<sup>14</sup>.

Sistem VAV efisien karena menghasilkan penghematan energi untuk kipas angin yang tidak bisa dihasilkan oleh sistem dengan volume yang konstan. Biasanya kipas angin mengkonsumsi lebih banyak energi pada sistem HVAC dibandingkan kompresor.

Dalam sistem VAV, masing-masing zona bangunan dilengkapi terminal VAV. Kontrol terminal memvariasikan posisi damper internal secara otomatis untuk menyediakan volume udara yang tepat sesuai dengan beban pendinginan pada zona tersebut.

Sebaiknya, kipas angin yang paralel dengan kipas angin VAV berkapasitas 50% dari aliran beban puncak (*design flow rate*) yang dirancang. Penentuan volume minimum kipas angin VAV harus sama dengan 30% dari beban puncak atau kebutuhan minimum volume ventilasi udara, tergantung mana yang lebih besar.

**Untuk informasi lebih lanjut tentang sistem VAV, silahkan mengacu pada dokumen-dokumen sebagai berikut:**

- Davis, Gray. California Energy Commission. 2003. Design Guideline - Advanced Variable Air Volume System Design Guide. (<http://www.energy.ca.gov/2003publications/CEC-500-2003-082/CEC-500-2003-082-A-11.PDF>)
- Energy Design Resources. 2009. Advanced Variable Air Volume VAV System Design Guide. ([http://www.energydesignresources.com/media/2651/EDR\\_DesignGuidelines\\_VAV.pdf](http://www.energydesignresources.com/media/2651/EDR_DesignGuidelines_VAV.pdf))
- Energy Star Building Manual. 2008. Air Distribution System. ([http://www.energystar.gov/ia/business/EPA\\_BUM\\_CH8\\_AirDistSystems.pdf?b50f-779d](http://www.energystar.gov/ia/business/EPA_BUM_CH8_AirDistSystems.pdf?b50f-779d))

---

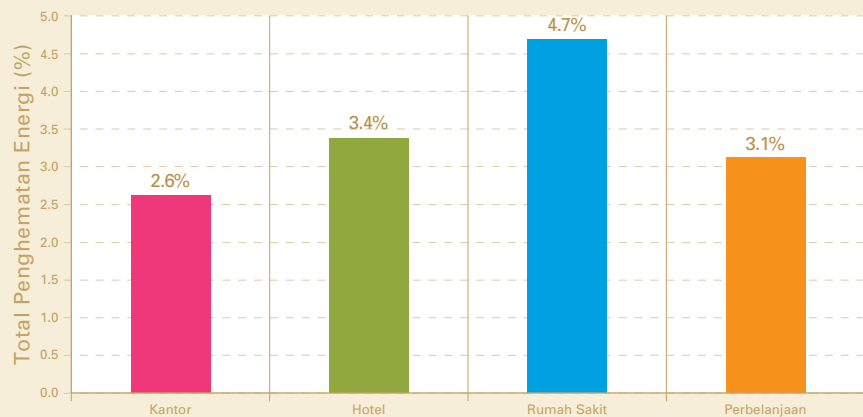
<sup>14</sup> Energy Efficiency Manual by Donald Wulfinghoff.

Menyediakan Penggerak Kecepatan Variabel (*Variable Speed Drive - VSD*) untuk *loop* utama pompa air pendingin dan kipas angin menara pendingin.

**D A M P A K** VSD dapat menghasilkan penghematan energi pada pompa dan kipas angin dengan biaya cukup rendah.

G A M B A R . 0 7

Penghematan Energi karena VSD pada Menara Pendingin pada Bagunan Gedung di Jakarta<sup>15</sup>



VSD memungkinkan pengendalian kecepatan motor agar sesuai dengan kebutuhan beban yang dilayaninya, bukan beroperasi dengan kecepatan penuh setiap saat. Memasang VSD pada pompa air pendingin primer akan memungkinkan bervariasinya kecepatan pompa sesuai dengan perubahan beban pendinginan dan perbedaan suhu dalam sistem air dingin (*chilled water system*). VSD juga dikenal sebagai Penggerak Frekuensi Variabel (*Variable Frequency Drive - VFD*).

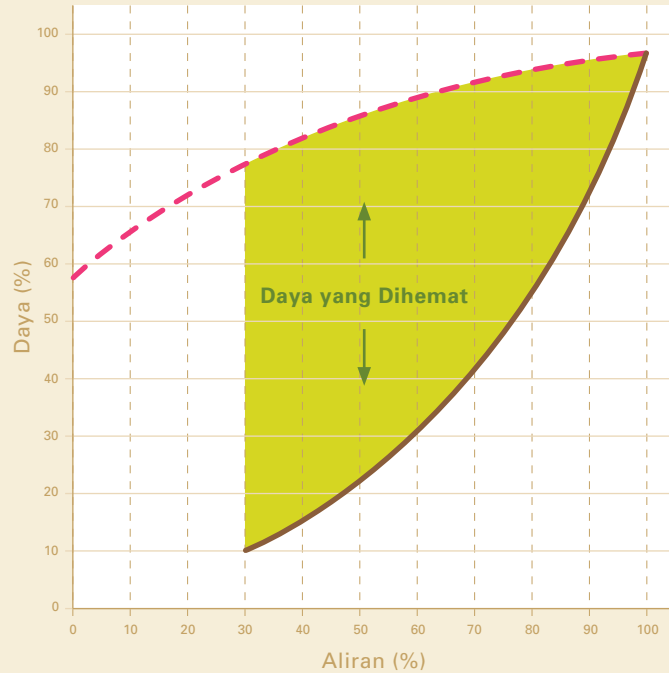
Karena kebutuhan daya dari motor pompa sistem air dingin (*chilled water*) primer berskala kira-kira 2,5 daya kecepatan, mengurangi kecepatan pompa sampai dengan 70% ketika beban pendinginan sekitar 70% akan menghasilkan penghematan energi pompa air pendingin utama kira-kira 55% hingga 60%. Pada beban rendah, mengurangi kecepatan pompa sampai dengan 50% akan menghasilkan penghematan energi pompa air pendingin utama kira-kira 80%. Karena pendingin beroperasi sebagian besar di bawah 70% dari kapasitas desain pendinginan maka penghematan energi bisa sangat besar.

<sup>15</sup> Analisis sensitivitas IFC untuk Peraturan Bangunan Gedung Hijau Jakarta.

## G A M B A R . 0 8

### Penghematan Daya dengan Menggunakan VSD untuk Pompa<sup>16</sup>

-  Masukan Daya Kecepatan Tetap
-  Masukan Daya untuk Menggerakkan
-  Daya yang Dihemat



Selain menghemat konsumsi energi, VSD juga menyediakan:

- Kontrol yang akurat terhadap suhu air yang keluar dan masuk ke kondensor.
- *Soft starts*, mengurangi tekanan pada sistem penggerak kipas angin.
- Kontrol kebisingan.
- Sistem diagnostik dan kontrol yang terintegrasi.

### Informasi lebih lanjut tentang VSD tersedia dalam dokumen-dokumen berikut ini:

- Honeywell. Variable Frequency Drive (VFD) - Application Guide. (<http://www.kele.com/Catalog/13%20Motor%20Controls/PDFs/Honeywell%20VFD%20Application%20Guide.pdf>)
- Hydraulic Institute; Europump; U.S. Department of Energy's Industrial Technologies Program. Variable Speed Pumping - A Guide to Successful Applications, Executive Summary. ([https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_deployment/pdfs/variable\\_speed\\_pumping.pdf](https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/pdfs/variable_speed_pumping.pdf))

<sup>16</sup> Carbon Trust - Making Business Sense of Climate Change. Variable Speed Drives, Introducing Energy Saving Opportunities for Business. ([http://www.energylab.es/fotos/081105155611\\_5gf9.pdf](http://www.energylab.es/fotos/081105155611_5gf9.pdf))



Menerapkan insulasi pada pipa air pendingin dan pipa refrigerant sesuai tabel berikut yang diambil dari SNI-0306572 seperti yang disebutkan pada pasal 8 ayat 3.

T A B E L . 0 3  
Insulasi Minimum untuk  
Pipa Air Pendingin<sup>17</sup>

SISTEM PIPA	SUHU CAIRAN (°C)	KETEBALAN INSULASI MINIMUM UNTUK UKURAN PIPA (mm)			
		≤50mm	<25mm	31-50mm	>200mm
JENIS					
Air Pendingin ( <i>Chilled Water</i> )	4,5 - 13	12	12	20	25
<i>Refrigerant</i>	< 4,5	25	25	38	38

**C A T A T A N**

1. Jika pipa terletak di lingkungan eksterior, insulasi perlu ditambah 12 mm.
2. Ketebalan insulasi berlaku untuk bahan dengan ketahanan panas 28 hingga 32 m<sup>2</sup>.K/W per meter. Jika ketahanan panas di luar kisaran ini, silahkan menggunakan rumus di 8.5 dari SNI 03-6390-2011 untuk menghitung ketebalan yang diperlukan.

**D A M P A K**

Insulasi secara substansial mengurangi konduksi panas dalam pipa pendingin, sehingga membuat beban pendinginan tidak dipengaruhi panas termal dalam pipa. Insulasi juga mencegah kondensasi pada pipa air pendingin yang dapat menyebabkan timbulnya karat pada pipa dan membutuhkan biaya penggantian cukup besar.

**Informasi lebih lanjut tentang insulasi pipa air pendingin tersedia di:**

- Hulin, Stanley Quentin. 2010. *Insulation Saves Energy, Complies with Building Codes* (<http://www.facilitiesnet.com/energyefficiency/article/Insulation-Saves-Energy-Complies-with-Building-Codes--11686>)
- Armacell UK Ltd. *How to Guide Insulating Pipes & Fittings with Armaflex*. ([http://www.armacell.com/WWW/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/ArmaflexHowToPipeWorkPocketGuide.pdf/\\$File/ArmaflexHowToPipeWorkPocketGuide.pdf](http://www.armacell.com/WWW/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/ArmaflexHowToPipeWorkPocketGuide.pdf/$File/ArmaflexHowToPipeWorkPocketGuide.pdf))
- Best Practice Manual. *Fluid Piping Systems & Insulation*. ([http://www.energymanagertraining.com/bee\\_draft\\_codes/best\\_practices\\_manual-PIPING.pdf](http://www.energymanagertraining.com/bee_draft_codes/best_practices_manual-PIPING.pdf)) (see Chapter 6)

<sup>17</sup> Sumber: SNI 03-6390-2011 (Tabel 8.5.a).

**Pendingin yang digunakan untuk AC tidak boleh mengandung Chlorofluorocarbons (CFC). (Pasal 18.5)**

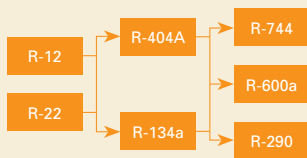
**D A M P A K** *Chlorofluorocarbons* (CFC) adalah senyawa karbon, hidrogen, klorin, dan fluor yang merusak lapisan ozon di stratosfer. Karena sifatnya yang stabil, CFC tidak mudah terurai, dan mampu membumbung ke stratosfer dan mengurangi ozon. Penipisan lapisan ozon dapat menyebabkan tingkat radiasi ultra violet yang lebih tinggi di permukaan bumi, yang dapat menyebabkan kanker kulit, katarak, gangguan terhadap sistem kekebalan tubuh, hasil panen berkurang, dll. Sebagian besar negara di dunia telah melarang penggunaan CFC, termasuk Indonesia sejak tahun 2008. Namun, sistem pendingin dengan refrigeran yang dilarang masih tersedia di banyak negara.

Sebagai pengganti CFC, *Hydrochlorofluorocarbons* (HCFC) saat ini sering digunakan sebagai pendingin. Namun, HCFC juga menipiskan ozon di stratosfer meskipun pada tingkat yang lebih rendah daripada CFC. HCFC juga dianggap sebagai gas rumah kaca, yang berkontribusi pada perubahan iklim karena tingginya potensi pemanasan global (*Global Warming Potential* - GWP). Menyadari hal ini, pemerintah Indonesia telah menyusun rencana penghapusan HCFC secara bertahap, dengan target penghapusan total HCFC di sektor AC dan sistem pendingin pada tahun 2015<sup>18</sup>.

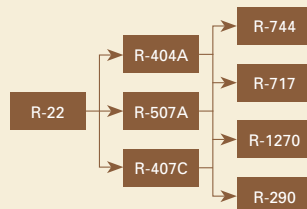
Disarankan bahwa sistem pendingin dengan refrigeran non-HCFC digunakan bila memungkinkan. Gambar berikut menunjukkan beberapa alternatif aman pengganti HCFC.

G A M B A R . 0 9  
Alternatif Pendingin yang Aman untuk CFC dan HCFC<sup>19</sup>

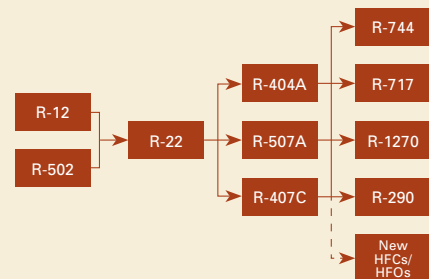
**Peralatan yang Berdiri Sendiri**



**Unit Kondensasi**



**Sistem Terpusat**



Panah padat menunjukkan alternatif yang sudah tersedia di pasaran.  
Panah putus-putus menunjukkan alternatif yang mungkin tersedia selanjutnya.

<sup>18</sup> United Nations Environment Programme. Project Proposal: Indonesia. (<http://www.multilateralfund.org/62/English%20Document/1/6235.pdf>)  
<sup>19</sup> United Nations Environment Programme. Project Proposal: Indonesia. (<http://www.multilateralfund.org/62/English%20Document/1/6235.pdf>)

Sistem mekanik harus dirancang untuk menyediakan tingkat ventilasi minimum sesuai dengan Butir 4.4 dari SNI 03-6572 2001. (Pasal 7.3)

Untuk ruangan yang dilayani sistem AC sentral, sistem ventilasi mekanik harus dirancang untuk menyediakan tingkat minimum pasokan udara segar sesuai dengan Butir 4.4 dari SNI 03-6572 2001 (tabel di bawah). **Tabel 4** menyediakan tingkat ventilasi rata-rata berdasarkan jenis bangunan, sedangkan **Tabel 5** menyediakan tingkat ventilasi untuk fungsi tertentu di dalam gedung. Salah satu dari tabel ini dapat digunakan untuk mematuhi peraturan yang berlaku. Pada kasus di mana sistem ventilasi udara memasok udara ke beberapa ruangan dengan fungsi yang berbeda, tingkat ventilasi tertinggi yang diperlukan di antara ruangan-ruangan itu harus digunakan.

TABEL 04  
Persyaratan Udara Segar  
untuk Jenis Bangunan<sup>20</sup>

JENIS	PASOKAN UDARA SEGAR MINIMUM	
	Pertukaran Udara/Jam	M <sup>3</sup> /Jam/Orang
Perkantoran	6	18
Restoran	6	18
Toko, Pasar Swalayan	6	18
Pabrik, Bengkel	6	18
Kelas, Bioskop	8	
Lobi, Koridor, Tangga	4	
Kamar Mandi, WC	10	
Dapur	20	
Tempat Parkir	6	

TABEL 05  
Persyaratan Udara Segar  
Berdasarkan Jenis Ruangan<sup>21</sup>

FUNGSI BANGUNAN	UNIT	KEBUTUHAN UDARA LUAR Ruangan Dilarang Merokok
<b>BINATU</b>		
Binatu	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,46
<b>RESTORAN</b>		
Ruang Makan	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Dapur	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,30
<i>Fast Food</i>	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
<b>LAYANAN MOBIL</b>		
Garasi Tertutup	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Bengkel	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
<b>HOTEL, MOTEL, ETC.</b>		
Kamar Tidur	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Ruang Keluarga	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,75
Lobi	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Ruang Rapat Kecil	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Ruang Rapat	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21

<sup>20</sup> SNI 03-6572 2001 (Tabel 4.4).

<sup>21</sup> SNI 03-6572 2001 (Tabel 4.4.2).

TABEL 05

Persyaratan Udara Segar Berdasarkan Jenis Ruang (*lanjutan*)

FUNGSI BANGUNAN	UNIT	KEBUTUHAN UDARA LUAR Ruang Dilarang Merokok
<b>PERKANTORAN</b>		
Ruang Kerja	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Ruang Rapat	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
<b>RUANG PUBLIK</b>		
Toilet Umum	(m <sup>3</sup> /min)/WC	2,25
Ruang ganti	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,45
<b>PUSAT PERBELANJAAN</b>		
<i>Basement</i> & Lantai Dasar	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Lantai Atas	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Pusat Perbelanjaan & Bermain	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Lift	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,45
<b>RUANG KECANTIKAN</b>		
Tempat Rias & Cukur Rambut	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,60
Ruang Olah Raga	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,42
Toko Bunga	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Toko Hewan Peliharaan	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,30
<b>RUANG HIBURAN</b>		
Disko & <i>Bowling</i>	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
<i>Moving Floor, Gymnasium</i>	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,60
Ruang Bermain	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Kolam Renang	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
<b>TEATER</b>		
Konter	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Lobi & <i>Lounge</i>	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Panggung & Studio	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,30
<b>TRANSPORTASI</b>		
Ruang Tunggu, Platform, dll	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
<b>RUANG KERJA</b>		
Pengolahan Makanan	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
<i>Treasury Bank</i>	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Farmasi	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Studio Fotografi	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Ruang Gelap	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,60
Ruang Cetak Foto	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
<b>SEKOLAH</b>		
Ruang Kelas	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
Laboratorium	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,30
Perpustakaan	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,15
<b>RUMAH SAKIT</b>		
Kamar Pasien	(m <sup>3</sup> /min)/tempat tidur	0,21
Kamar Pemeriksaan	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21
Ruang Operasi dan Bersalin	(m <sup>3</sup> /min)/orang	1,20
Ruang Gawat Darurat	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,45
Ruang Otopsi	(m <sup>3</sup> /min)/orang	3,00
<b>RUMAH TINGGAL</b>		
Ruang Keluarga	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,30
Kamar Tidur	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,30
Dapur	(m <sup>3</sup> /min)/orang	3,00
Toilet	(m <sup>3</sup> /min)/orang	1,50
Garasi	(m <sup>3</sup> /min)/mobil	3,00
Garasi Bersama	(m <sup>3</sup> /min)/m <sup>2</sup>	0,45

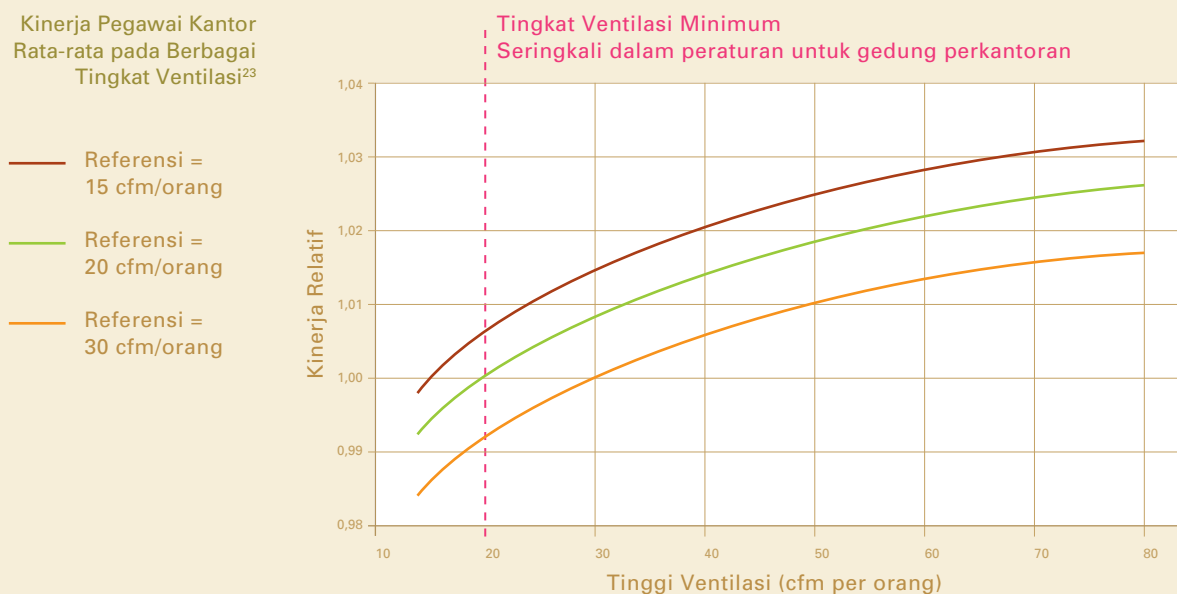
TABEL 05  
Persyaratan Udara Segar Berdasarkan Jenis Ruang (lanjutan)

FUNGSI BANGUNAN	UNIT	KEBUTUHAN UDARA LUAR Ruang Dilarang Merokok
<b>INDUSTRI</b>		
Aktivitas Tinggi	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,60
Aktivitas Menengah	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,30
Aktivitas Rendah	(m <sup>3</sup> /min)/orang	0,21

**DAMPAK** Manfaat utama dari peraturan ini adalah peningkatan kesehatan dan kenyamanan penghuni. Tingkat ventilasi yang tepat menghasilkan peningkatan kualitas udara ruangan yang dapat meningkatkan kesehatan dan produktivitas orang-orang dalam ruangan tersebut.

Sebuah studi tentang kinerja di *call center* dan simulasi kerja kantor dengan peningkatan tingkat ventilasi menunjukkan kenaikan kinerja yang signifikan<sup>22</sup>. Ukuran yang digunakan bagi kinerja adalah waktu yang dibutuhkan untuk berinteraksi dengan pelanggan melalui telepon dan melakukan pengolahan informasi yang terkait di dalam komputer. Data menunjukkan bahwa kinerja (kecepatan dan ketepatan) pelaksanaan tugas kantor biasanya membaik dengan peningkatan tingkat ventilasi (lihat **Gambar 10** di bawah). Untuk tingkat ventilasi awal antara 0,4 m<sup>3</sup>/min/orang (14 cfm per orang) dan 0,85 m<sup>3</sup>/min/orang (30 cfm per orang), kinerja rata-rata meningkat sekitar 0,8% per 0,28 m<sup>3</sup>/min/orang (10 cfm per orang) kenaikan tingkat ventilasi. Pada tingkat ventilasi yang lebih tinggi, peningkatan kinerja rata-rata lebih kecil, sekitar 0,3% per 0,28 m<sup>3</sup>/min/orang (10 cfm per orang) kenaikan tingkat ventilasi.

GAMBAR 10  
Kinerja Pegawai Kantor Rata-rata pada Berbagai Tingkat Ventilasi<sup>23</sup>



<sup>22</sup> Seppänen, O., W.J. Fisk, and Q.H. Lei, Ventilation and performance in office work (Ventilasi dan kinerja dalam pekerjaan kantor). *Indoor Air (Udara dalam Ruangan)*, 2006. 16(1): p. 28-36.

<sup>23</sup> Seppänen, O., W.J. Fisk, and Q.H. Lei, Ventilation and performance in office work (Ventilasi dan kinerja dalam pekerjaan kantor). *Indoor Air (Udara dalam Ruangan)*, 2006.

Demikian pula di sekolah, penelitian menunjukkan potensi kenaikan 5% sampai 10% dalam prestasi siswa dengan tingkat ventilasi yang ditingkatkan<sup>24</sup>.

Sebuah studi di Norwegia yang dilakukan terhadap 35 ruang kelas yang terletak di delapan sekolah menggunakan waktu untuk bereaksi dalam tes standar untuk mengukur konsentrasi dan kewaspadaan siswa. Reaksi mereka adalah 5,4% lebih cepat pada tingkat ventilasi 8,1 pertukaran udara per jam (*Air Changes per Hour - ACH*) setara dengan 26 cfm per orang dibandingkan dengan 2,6 ach (8 cfm per orang).

Sebuah studi di Amerika Serikat terhadap kelas 5 dari 54 sekolah, menggunakan prestasi siswa dalam tes akademik standar sebagai ukuran kinerja. Kinerja tes matematika dan tes membaca meningkat dengan tingkat ventilasi. Nilai tes meningkat sekitar 13% dalam ruang kelas dengan tingkat ventilasi terendah (kurang dari 4,5 cfm per siswa) hingga ruang kelas dengan tingkat ventilasi tertinggi (lebih dari 9 cfm per penghuni).

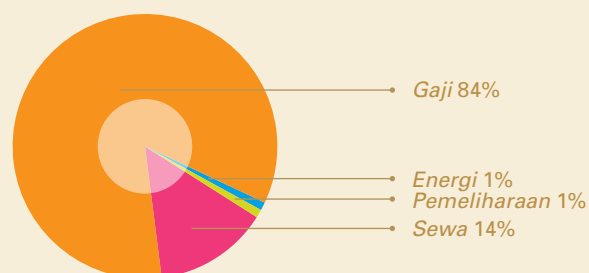
Sebuah studi di Denmark (Wargocki dan Wyon) melaporkan peningkatan signifikan sebesar 8% secara statistik dalam kecepatan menyelesaikan tugas pekerjaan sekolah dengan kenaikan tingkat ventilasi dua kali lipat.

Karena gaji karyawan merupakan sebagian besar dari total biaya operasional gedung kantor, bahkan sedikit peningkatan dalam produktivitas dapat mengimbangi biaya tambahan untuk meningkatkan kualitas udara ruangan. Sebuah peningkatan kecil dalam menghemat produktivitas (1%-5%) dapat mengimbangi hampir seluruh biaya energi tahunan sebuah bangunan.

## G A M B A R . 1 1

Rincian Biaya Operasional Sebuah Bangunan Komersial Amerika Serikat<sup>25</sup>

### Biaya Bangunan Gedung Komersial/ S.F.



<sup>24</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory. Indoor Air Quality, Scientific Findings Resource bank. (<http://www.iaqscience.lbl.gov/sfrb.html>)

<sup>25</sup> World Building Design Guide; A Program of the National Institute of Building Sciences. Human Productivity Improvements Linked to Daylighting (Peningkatan Produktivitas Manusia dalam Kaitannya dengan Pencahayaan Siang). (<http://www.wbdg.org/design/productive.php>)

Seperti disebutkan sebelumnya, perlu ketelitian agar ventilasi dalam bangunan tidak terlalu besar karena akan mengakibatkan pemborosan energi. Selain standar SNI 03-6572 maka Standar 90.1 ASHRAE dan Standar 62 ASHRAE 62 juga memberikan beberapa petunjuk tentang desain ventilasi.

**Panduan lebih lanjut tentang sistem ventilasi tersedia di:**

- Energy Design Resource. Design Brief, Indoor Air Quality. ([http://www.energydesignresources.com/media/1750/edr\\_designbriefs\\_indoorairquality.pdf](http://www.energydesignresources.com/media/1750/edr_designbriefs_indoorairquality.pdf))

## P E R S Y A R A T A N P E R A T U R A N 7 A Q 0 1

**Auditorium, ruang konferensi besar, dan ruangan serupa dengan hunian lebih rendah dari 3 m<sup>2</sup>/orang harus dilengkapi dengan pemantau karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) untuk membatasi konsentrasi CO<sub>2</sub> hingga kurang dari 1000 ppm sesuai dengan ASHRAE 62.1-1989.**

**D A M P A K** Sistem ventilasi dirancang untuk menyediakan udara segar dengan desain tingkat hunian yang biasanya jauh lebih tinggi daripada tingkat hunian sebenarnya. Ini bisa mengakibatkan kelebihan ventilasi saat tingkat hunian rendah, yang menyebabkan pemborosan energi untuk kipas angin, pendinginan, dan penurunan kelembaban. Pengendalian ventilasi berdasarkan kebutuhan mengatur tingkat pasokan udara luar berdasarkan hunian yang sebenarnya di dalam ruangan tanpa menimbulkan ketidaknyamanan penghuni. Pengaturan damper untuk mengtur pasokan udara luar ini biasanya dilakukan melalui sensor CO<sub>2</sub> atau sensor hunian yang ditempatkan dalam ruangan atau dalam saluran balik (*return duct*). Karena manusia menghembuskan CO<sub>2</sub>, ini dapat digunakan untuk mengukur tingkat hunian di dalam ruangan. Batas maksimum yang diterima secara umum untuk konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam ruangan adalah 1000 parts per million (ppm).

Sistem kontrol ini biasanya diterapkan pada bioskop, ruang rapat, *auditorium* atau *ballroom*. Jika desain tingkat ventilasi tidak diketahui, ruangan berikut harus dilengkapi dengan kontrol ventilasi CO<sub>2</sub>.

TABEL 06

Default Ruangan dengan Tingkat Hunian Tinggi<sup>26</sup>

KATEGORI HUNIAN	Default Kepadatan Hunian m <sup>2</sup> /orang	KATEGORI HUNIAN	Default Kepadatan Hunian m <sup>2</sup> /orang
Ruang kelas (usia 9 ke atas)	2,9	Ruang makan restoran	1,4
Musik/teater/dansa	2,9	Panggung, studio	1,4
Tempat <i>bowling</i> (duduk)	2,5	Bar, <i>cocktail lounge</i>	1,0
Klub kesehatan/ruang aerobik	2,5	Ruang kafetaria/cepat saji	1,0
Kawasan umum mal	2,5	Lantai disko/dansa	1,0
Musium (kanak-kanak)	2,5	Ruang multi guna	1,0
Musium/galeri	2,5	Tempat tunggu transportasi	1,0
Booking/tunggu	2,0	Ruang serba guna	0,8
Konperensi/rapat	2,0	Tempat ibadah	0,8
Ruang legislatif	2,0	Tempat duduk auditorium	0,7
Telepon/ <i>data entry</i>	1,7	Ruang kuliah (tempat duduk)	0,7
Ruang kuliah	1,5	Lobi	0,7
Ruang pengadilan	1,4	Kawasan penonton	0,7

**Panduan lebih lanjut tentang kontrol ventilasi otomatis sesuai hunian tersedia di:**

- Stipe, Marty P. E. 2003. Demand-Controlled Ventilation: A Design Guide. (<http://www.oregon.gov/energy/CONS/BUS/DCV/docs/DCVGuide.pdf>)

## PERSYARATAN PERATURAN 7 A Q 0 2

Setiap area parkir tertutup yang berpotensi menerima akumulasi konsentrasi karbonmonoksida (CO) harus dilengkapi dengan pemantau karbon monoksida (CO) untuk mengendalikan ventilasi seperti yang disebutkan pada Pasal 18 ayat 3.

**DAMPAK** Garasi parkir tertutup menghadapi tantangan signifikan dalam menjaga kualitas udara yang baik, karena emisi kendaraan dapat meningkatkan konsentrasi CO dan gas beracun lainnya ke tingkat yang berbahaya. Paparan secara menerus terhadap CO, bahkan pada tingkat konsentrasi moderat, dapat menyebabkan masalah kesehatan yang berkepanjangan.

<sup>26</sup> Sumber: ASHRAE Standard 62.1 (Tabel 6-1).



TABEL 07

Tingkat Keracunan Karbon Monoksida dalam Kaitannya dengan Gejala Kesehatan<sup>27</sup>

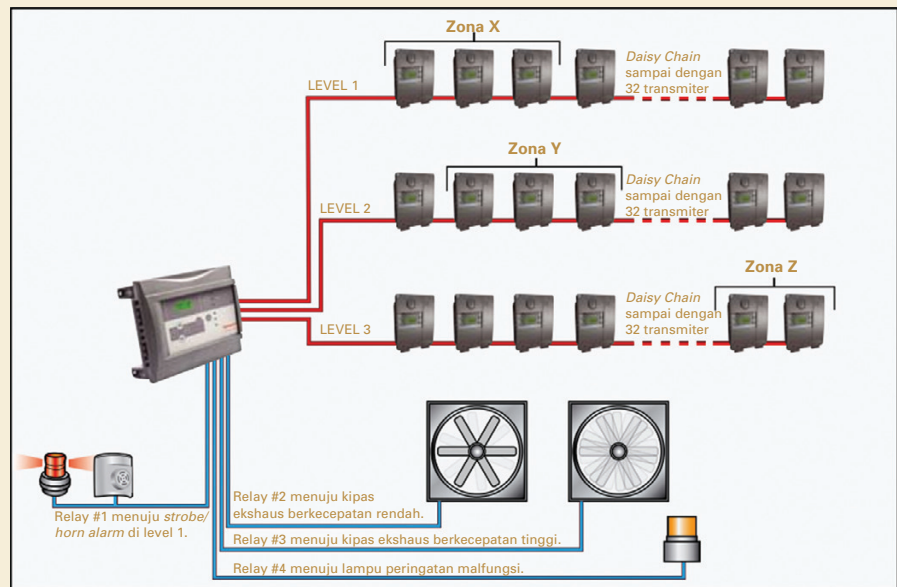
TINGKAT CO DI UDARA		GEJALA KERACUNAN & WAKTU MENGHIRUP
ppm	%	
12.800	1,28	Kematian dalam 1 sampai 3 menit.
6.400	0,64	Sakit kepala, pusing dalam 1-2 menit. Kematian dalam 10-15 menit.
3.200	0,32	Sakit kepala, pusing, mual dalam 10 menit. Kematian dalam 30 menit.
1.600	0,16	Sakit kepala, pusing, mual dalam 20 menit. Kematian dalam 2 jam.
800	0,08	Sakit kepala, pusing, mual dalam 45 menit, kejang-kejang. Koma dalam 2 jam.
400	0,04	Sakit kepala frontal 1-2 jam, meluas 2,5 sampai 3,5 jam.
200	0,02	Sakit kepala ringan, kelelahan, pusing, mual setelah 2-3 jam.

Konsentrasi maksimum CO yang disarankan, saat sistem ventilasi harus beroperasi secara otomatis, adalah 50 ppm.

Penggunaan sensor Karbon Monoksida (CO) yang dihubungkan dengan sistem ventilasi mencegah penumpukan CO. Sementara ini bermanfaat bagi kesehatan manusia, juga dapat menghemat energi dengan mengurangi jumlah jam operasional kipas angin untuk menyediakan udara segar. Sementara tingkat ventilasi minimal dipertahankan pada setiap saat, udara segar tambahan disediakan hanya jika tingkat CO meningkat tinggi.

GAMBAR 12

Sistem Pemantauan Karbon Monoksida (CO) pada Struktur Parkir 3 Tingkat<sup>28</sup>



<sup>27</sup> Sumber: Honeywell. Parking Garage Guide. (<http://www.honeywellanalytics.com/Technical%20Library/Americas/Parking%20Garage%20Guide/Datasheet/HA%20Parking%20Guide.pdf>)

<sup>28</sup> Sumber: Honeywell. Parking Garage Guide. (<http://www.honeywellanalytics.com/Technical%20Library/Americas/Parking%20Garage%20Guide/Datasheet/HA%20Parking%20Guide.pdf>)

# 03 *contoh terapan praktis lainnya*

## 1. MENGURANGI BEBAN PENDINGINAN

**Tujuan utama peralatan pendingin udara adalah menghilangkan panas dan kelembaban dalam ruangan.** Meskipun sebagian panas dan kelembaban ini dihasilkan dalam gedung oleh penghuni dan peralatan, sebagian besar berasal dari luar melalui jendela, dinding, pintu, dan kebocoran udara.

Desain pasif selubung bangunan, yang mencakup orientasi bangunan, peneduh jendela, pemilihan kaca, *air tightness*, pencahayaan alami, dan ventilasi alami dapat secara signifikan mengurangi beban pendinginan pada bangunan. Untuk tipikal bangunan di Jakarta, potensi penghematan ini berkisar antara 15-30% dari total konsumsi energi.

GAMBAR 13

Potensi Penghematan Energi Fitur Desain Pasif di Jakarta<sup>29</sup>



<sup>29</sup> Analisis sensitivitas energi unuk bangunan khas Jakarta oleh IFC.

Silahkan melihat buku petunjuk “**Selubung Bangunan**” untuk beberapa contoh fitur desain pasif.

Fitur-fitur desain pasif ini secara signifikan dapat mengurangi kebutuhan pendinginan (*cooling load*), dan dengan demikian kapasitas sistem pendingin yang diperlukan. Sangat dianjurkan bahwa perhitungan pengurangan beban pendinginan dilakukan sebelum menentukan kapasitas sistem pendingin.

## 2 . C O M M I S S I O N I N G

Sebagian besar bangunan tidak mencapai efisiensi sesuai desain segera setelah selesai dibangun. Biasanya, proses penyesuaian (*tuning*) membutuhkan waktu 3 sampai 6 bulan sebelum mencapai efisiensi operasi sesuai desain. **Commissioning adalah proses kontrol kualitas yang memverifikasi dan mendokumentasi bahwa seluruh sistem bangunan sesuai dengan spesifikasi efisiensi dan memenuhi kebutuhan dari pemilik bangunan dan penghuni.**

Manfaat *commissioning* sangat banyak, mulai dari biaya energi lebih rendah hingga kenyamanan penghuni dan kualitas udara yang lebih baik dalam ruangan.

*Commissioning* biasanya mengikuti langkah-langkah ini:

### 1. Tahap Desain

- a. Pemilihan rekanan konsultan *commissioning*.
- b. Perencana memasukkan persyaratan *commissioning* ke dalam spesifikasi teknis.

### 2. Selama Pembangunan

- a. Konsultan *commissioning* memeriksa sistem dan komponen bangunan
- b. Mendekati penyelesaian, konsultan *commissioning* dan kontraktor melakukan tes kinerja yang ketat.

### 3. Setelah Pembangunan

- a. Konsultan *commissioning* memberikan pelatihan dan dokumentasi kepada para operator bangunan untuk memastikan pengoperasian dan pemeliharaan gedung dengan tepat.

Walaupun sering diabaikan di Jakarta, *commissioning* yang tepat dari sebuah bangunan dapat menghasilkan penghematan operasional yang cukup besar. Analisis oleh Lawrence Berkeley National Laboratory di Amerika Serikat (**Tabel 8** di bawah) tentang *commissioning* berbagai bangunan menunjukkan penghematan energi hingga 22% dengan pengembalian modal di bawah 1,5 tahun.

TABEL 08

Penghematan Energi dan Pengembalian Modal dari *Commissioning*<sup>30</sup>

	SUMBER PENGHEMATAN ENERGI	MASA PENGEMBALIAN MODAL
Pendidikan Tinggi	11 %	1,5 tahun
Penjualan Makanan	12 %	0,3 tahun
Rawat Inap Rumah Sakit	15 %	0,6 tahun
Laboratorium	14 %	0,5 tahun
Penginapan	12 %	1,5 tahun
Retail	N/A	1,4 tahun
Kantor	22 %	1,1 tahun

Informasi lebih lanjut tentang proses *commissioning* dan manfaatnya dapat ditemukan di:

- Energy Design Resources. Design Guidelines: Commissioning Guidelines. (<http://energydesignresources.com/resources/publications/design-guidelines/design-guidelines-commissioning-guidelines.aspx>)
- Mills, Evan; Lawrence Berkeley National Laboratory. Building Commissioning: A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions. (<http://cx.lbl.gov/documents/2009-assessment/lbnl-cx-cost-benefit-pres.pdf>)

### 3 . ZONA TERMAL

**Zona termal adalah ruangan atau sekelompok ruangan yang memiliki persyaratan pendinginan serupa yang dapat dikendalikan oleh sebuah termostat tunggal.**

Termostat setiap zona dapat diatur ke tingkat kenyamanan yang diinginkan penghuni saat beroperasi dan AC dapat dimatikan ketika ruangan kosong, tanpa mengganggu operasional bagian lain dari bangunan tersebut.

Zonasi termal yang tepat dapat menghemat energi serta meningkatkan kenyamanan penghuni. Zonasi yang tidak tepat dapat mengakibatkan peningkatan konsumsi energi 5-15%<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory; Evan Mills, Ph.D.; Building Commissioning: A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions (Commissioning Bangunan: Sebuah Peluang Emas bagi Pengurangan Biaya Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca); July 21, 2009.

<sup>31</sup> Smith, Virginia; Sookoor, Tamim; Whitehouse, Kamin. Modeling Building Thermal Response to HVAC Zoning. (<http://www.cs.virginia.edu/~whitehouse/research/buildingEnergy/smith12conet.pdf>)

Beberapa contoh aplikasi zonasi termal yang baik adalah:

- **1 zona per lantai.** Hanya digunakan dalam rencana tata letak terbuka (*open floor plan*) dengan panjang dinding perimeter tidak melebihi 12 meter.
- **2 zona per lantai (eksterior dan interior).** Zona eksterior secara langsung dipengaruhi oleh kondisi di luar ruangan, sedangkan zona interior hanya sedikit dipengaruhi oleh kondisi di luar ruangan dan biasanya memiliki pendinginan yang seragam.
- **5 zona per lantai.** Untuk bangunan besar, termasuk satu zona untuk setiap zona perimeter (utara, selatan, timur, & barat) dan zona interior.
- **Zonasi berdasarkan pemanfaatan ruangan.** Seperti ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

TABEL 09

Zonasi Termal Berdasarkan Penggunaan Ruangan<sup>32</sup>

RUANGAN	ZONA	ALASAN
Teater yang digunakan untuk pertunjukan hidup	1. Tempat penonton duduk	Area penonton membutuhkan pendinginan dan ventilasi yang tinggi ketika penonton hadir.
	2. Panggung	Panggung memerlukan ventilasi rendah dan pendinginan rendah sampai semua lampu dihidupkan yang memerlukan tingkat pendinginan yang tinggi.
Gelanggang es dalam ruangan	1. Penonton	Penonton membutuhkan ventilasi dan kehangatan.
	2. Lapisan es	Lapisan es membutuhkan kecepatan udara rendah dan suhu rendah untuk meminimalkan pelelehan.
	3. Ruang atas	Mungkin perlu penghilang kelembaban untuk mencegah kabut dan kondensasi.
Kantor	1. Dekat jendela	Area perimeter ini dapat dipengaruhi oleh beban panas dari matahari dan membutuhkan lebih banyak pendinginan.
	2. Kawasan interior	Beban zona interior akan bervariasi karena penghuni, lampu, dan peralatan.
Bandara	1. Lobi	Sebuah ruang besar dengan berbagai kegunaan serta hunian dan beban yang sangat bervariasi.
	2. Keamanan	
	3. Retail outlet	Setiap zona memerlukan kondisi sendiri.
	4. Check-in	

<sup>32</sup> Fundamentals of HVAC, ASHRAE Course Reader.

## 4 . A B S O R P T I O N   C H I L L E R S

**Absorption chillers** berbeda dengan pendingin konvensional karena menggunakan panas dan bukan energi mekanik untuk menghasilkan pendinginan. Jika sumber panas tersedia di lokasi, seperti pabrik pembangkit energi setempat, *absorption chillers* dapat digunakan untuk memanfaatkan energi pendinginan tersebut. Meskipun *absorption chillers* biasanya memiliki tingkat efisiensi lebih rendah daripada pendingin sentrifugal normal, mereka cocok untuk pemanfaatan panas yang biasanya terbuang dengan sia-sia.

Jika radiasi matahari cukup tersedia, bisa juga digunakan untuk menjalankan *absorption chillers*. Aplikasi semacam ini sering disebut “pendinginan surya (*solar cooling*)”, dan dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan di iklim tropis, seperti di Indonesia. Salah satu keuntungan dari pendinginan surya adalah bahwa pendinginan lebih efisien ketika matahari bersinar paling terik. Dengan demikian masuknya panas matahari (*solar heat gain*) sebagian besar dikurangi dengan peningkatan efisiensi pendinginan surya (*solar cooling*).

**Informasi lebih lanjut tentang *absorption chillers* tersedia di:**

- Trane, An American-Standard Company. Absorption Water Chillers, A Trane Air Conditioning Clinic. (<http://www.njatc.org/downloads/trc011en.pdf>).

## 5 . P E N G G E R A K   M A G N E T I K P A D A   K O M P R E S O R

**Salah satu pengguna energi tertinggi dalam tipe pendingin sentrifugal dan *screw* adalah kompresor. Salah satu teknologi baru yang membuat terobosan dalam mengatasi penggunaan energi yang tinggi ini adalah kompresor bebas minyak (*oil-free compressor*) yang menggunakan penggerak magnetik.** Karena penggerak tersebut bebas minyak maka tidak banyak membutuhkan pemeliharaan. Jenis kompresor ini lebih efisien pada beban pendinginan rendah sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 10** di bawah. Tabel tersebut menunjukkan bahwa pendingin bebas minyak bisa 45% lebih efisien dibandingkan tipe pendingin *screw*.

TABEL 10

**Pendingin Bebas Minyak, Kecepatan Bervariasi, Penggerak Magnetik<sup>33</sup>**

Kondisi ARI 550/590-1198			Sekrup Utama AIR yang DIDINGINKAN				Pendingin bebas Minyak AIR yang DIDINGINKAN			
Load	ECW F/C	LCHW F/C	SST F/C	SCT F/C	COP	kW/Ton	SST F/C	SCT F/C	COP	kW/Ton
100 %	85/29,5	44/6,7	42/5,6	98/36,7	5,33	0,64	42/5,6	98/36,7	5,56	0,63
75 %	75/23,9	44/6,7	42,3/5,8	89,6/32	5,73	0,60	42,3/5,8	85/29,5	7,31	0,48
50 %	65/18,3	44/6,7	42,5/5,9	89,6/32*	5,49	0,64	42,5/5,9	72,2/2,2	11,38	0,30
25 %	65/18,3	44/6,7	42,8/6,0	89,6/32*	4,11	0,845	42,8/6	70,0/21,1	10,86	0,32
<b>IPLV</b>	COP	kW/Ton	<b>5,4 0,65</b>				<b>9,55 0,36</b>			

## 6 . P E N E N T U A N K A P A S I T A S P E N D I N G I N ( C H I L L E R S I Z I N G )

Karena ketidakpastian parameter yang melekat dalam desain serta pertimbangan risiko, kebanyakan instalasi air pendingin (*chilled water plants*) dirancang lebih besar daripada yang dibutuhkan. Kapasitas instalasi air pendingin yang terlalu besar (*over sizing*) memiliki beberapa dampak seperti diuraikan di bawah.

- Ketika beroperasi pada beban parsial (*part load*), pendingin berkecepatan tetap yang terlalu besar mungkin tidak berfungsi seefisien mesin yang lebih kecil. Sebaliknya, pendingin dengan kecepatan variabel pada beban parsial dapat beroperasi lebih efisien daripada mesin kecil dengan beban penuh (*full load*).
- Pendingin berukuran terlalu besar memiliki pompa air pendingin dan kondensor lebih besar yang akan mengkonsumsi lebih banyak energi, jika pompa dihidupkan pada kecepatan konstan. Kerugian ini dapat dikurangi secara signifikan jika pompa memiliki penggerak kecepatan variabel (*Variable Speed Drive, VSD*) atau jika instalasi air pendingin terdiri dari beberapa pendingin lebih kecil.
- Pipa yang lebih besar mengakibatkan lebih sedikit penurunan tekanan (energi pemompaan lebih rendah) daripada instalasi pipa yang “berukuran tepat.”

<sup>33</sup> Sumber: Presentation on Oil-free chillers, ASHRAE Puget Sound Chapter. ([http://www.pugetsoundashrae.org/EV2030\\_2008/ev2030oil-freecompressorssm.pdf](http://www.pugetsoundashrae.org/EV2030_2008/ev2030oil-freecompressorssm.pdf))

- Menara pendingin (*cooling tower*) yang terlalu besar bisa menghemat energi dengan memungkinkan kipas angin berputar lebih lambat (dengan *Variable Fan Drive* - VFD). Di samping itu, juga dapat menghasilkan suhu air kondensor lebih rendah guna mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi pada saat *chiller* beroperasi pada beban parsial. Sebaliknya, menara pendingin yang terlalu besar mungkin memiliki masalah pengurangan aliran yang memaksa operator untuk menggunakan sel-sel yang lebih sedikit pada kecepatan kipas angin lebih tinggi, yang akhirnya dapat meningkatkan penggunaan energi.
- Instalasi berukuran terlalu besar selalu membutuhkan biaya lebih besar saat konstruksi. Meskipun, biaya instalasi tidak berbanding lurus dengan kapasitas totalnya, instalasi lebih besar mengakibatkan biaya *chiller* yang lebih mahal, pompa lebih besar, dan mungkin pipa yang lebih besar.

Kadang-kadang menyediakan kapasitas tambahan tidak dapat dihindari. Pemilik gedung atau *developer* mungkin mengharuskan penggunaan *chiller* yang berlebihan atau menaikkan kapasitas instalasi untuk mengantisipasi beban di masa depan. Penggunaan kapasitas peralatan yang berlebihan atau cadangan merupakan masalah yang berbeda dari desain yang berlebihan (*over sizing*). Untuk mengurangi masalah dengan instalasi yang terlalu besar, instalasi air pendingin harus dijalankan secara efisien pada beban rendah.

Contoh berikut dari model simulasi komputer membantu memperagakan permasalahan desain yang berlebihan. Dalam hal ini, instalasi pendinginan 800 ton melayani kompleks perkantoran yang beroperasi dengan jadwal lima hari per minggu. Profil beban dirancang untuk beban puncak 450 ton. Model instalasi mengikuti skenario sebagai berikut:

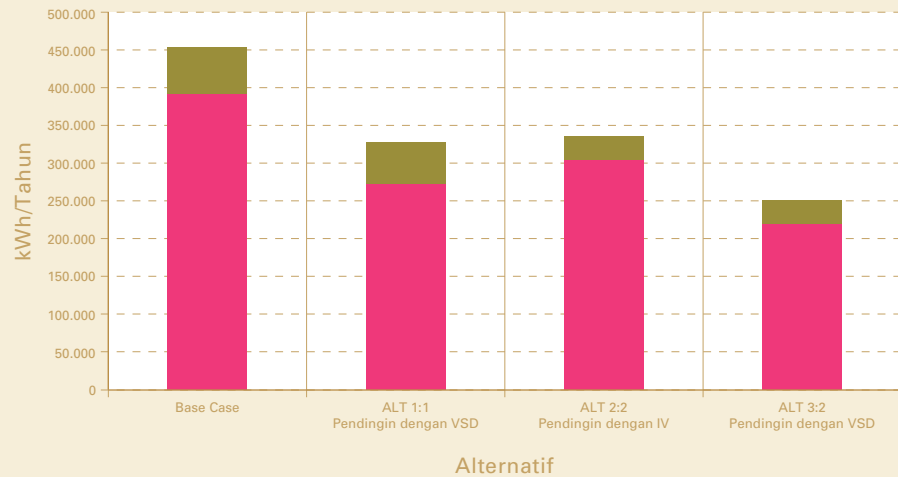
- **Kasus Dasar:** Sebuah mesin 800-ton tunggal dengan kontrol baling-baling (*inlet vane control*).
- **Alt 1:** Sebuah mesin 800-ton tunggal dengan kontrol penggerak kecepatan bervariasi (VSD).
- **Alt 2:** Dua mesin 400-ton dengan kontrol baling-baling (*inlet vane control*).
- **Alt 3:** Dua mesin 400-ton masing-masing dengan kontrol penggerak kecepatan bervariasi (VSD).



G A M B A R . 1 4

Penggunaan Energi Pendinginan untuk Empat Desain Alternatif<sup>34</sup>

- Pendingin
- Menara



Perhatikan penurunan dramatis konsumsi energi pendinginan tahunan ketika penggerak kecepatan variabel ditambahkan pada mesin 800 ton, dan juga ketika alternatif beberapa mesin digunakan. Meskipun skenario lainnya mungkin menghasilkan konsumsi energi yang sama atau lebih baik, contoh ini menggambarkan bahwa kerugian energi instalasi yang terlalu besar dapat dikurangi secara dramatis jika pengurangan yang efisien diperhitungkan ke dalam desain. Dengan menambah penggerak kecepatan variabel pada pendingin tunggal atau menyediakan dua pendingin kecepatan tetap yang lebih kecil maka energi tahunan berkurang sekitar sepertiga. Menggabungkan langkah-langkah ini (dua pendingin dengan penggerak kecepatan variabel) mengurangi energi tahunan sebesar hampir 50%.

Saat proses perancangan, penentuan *chiller* yang “berukuran tepat - *right sizing*” adalah salah satu cara yang paling efektif untuk menghemat penggunaan energi. Sebagai pengganti aturan sederhana yang praktis (*rules of thumb*), penentuan ukuran yang tepat memerlukan pemodelan dan/atau simulasi. Model atau simulasi memperhitungkan semua fitur desain pasif, penggunaan bangunan, dan asumsi operasional untuk membuat grafik tipikal beban panas bangunan di siang hari. Dari grafik beban panas ini, ukuran *chiller* dipilih untuk memungkinkan kombinasi *chiller* yang terbaik untuk mendapatkan beban pendinginan yang tinggi (*high chiller loading*) pada saat siang hari, yang berarti efisiensi pendinginan lebih baik karena *chiller* biasanya beroperasi lebih efisien pada beban yang lebih tinggi. Model dan simulasi juga dapat mengakibatkan biaya modal lebih rendah karena kapasitas *chiller* yang lebih rendah ditentukan dengan mempertimbangkan aspek desain pasif.<sup>35</sup>

<sup>34</sup> Sumber: CoolToolsTM Chilled Water Plant Design and Specification Guide, Pacific Gas and Electricity Company. (<http://www.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/Chillers/Chilled%20Water%20Plant%20Design%20and%20Specification%20Guide.pdf>)

<sup>35</sup> Chilled Water Plant Design Guide by Energy Design Resources (Desain Instalasi Air Pendingin oleh Sumber Daya Desain Energi). (<http://energydesignresources.com/resources/publications/design-guidelines/design-guidelines-cooltools-chilled-water-plant.aspx>)

## 7 . P E M E L I H A R A A N

**Perencanaan dan pemeliharaan prediktif sistem pengkondisian udara sangat penting dalam mendapatkan penghematan energi secara berkelanjutan.** Sebaliknya, pemeliharaan yang reaktif bisa sangat mahal. Bangunan dengan pemeliharaan HVAC yang dilaksanakan dengan benar dapat menghemat konsumsi energi sebesar 15% sampai 20% selama masa operasional bangunan dibandingkan dengan sistem yang kurang terawat.<sup>36</sup>

Sebuah studi kasus yang rinci terhadap bangunan universitas di North Carolina, Amerika Serikat menunjukkan akibat perawatan yang buruk pada biaya operasional.

TABEL 11  
Perbandingan Biaya Operasional antara Pemeliharaan yang Baik dengan yang Buruk<sup>37</sup>

	KASUS TERBAIK	KASUS TERBURUK
Sensor Cahaya	OK	30% kelebihan
Filter	Bersih	Sangat Kotor
Kipas Angin	Kecepatan Variabel	Kecepatan Penuh
Pompa	Kecepatan Variabel	Kecepatan Penuh
Menara Pendingin	OK	Kotor
Pendingin	OK	Kotor, Buruk
<i>Boiler</i>	OK	Kehilangan Efisiensi
Termostat	OK	3 F melayang
Kelembaban	50%	40%
<i>Night Setback</i>	OK	Dimatikan
Udara Luar	OK	50% kelebihan, tidak ada permintaan
<i>Economizer</i>	OK	Dimatikan
Jadwal	OK	1 jam mati
<b>Energi</b>	<b>\$ 164.000</b>	<b>\$ 297.852</b> <b>peningkatan 81,4%</b>

Sebagaimana ditunjukkan pada tabel di atas, pemeliharaan yang buruk menyebabkan peningkatan 81% dalam konsumsi energi tahunan bangunan ini, jika dibandingkan dengan skenario kasus terbaik.

<sup>36</sup> Piper, James. 2009. HVAC Maintenance and Energy Saving (Pemeliharaan HVAC dan Penghematan Energi). (<http://www.facilitiesnet.com/hvac/article/HVAC-Maintenance-and-Energy-Savings--10680>)

<sup>37</sup> "The Cost of Doing Nothing (Biaya dari Tidak Melakukan Apapun)" NC Sustainable Energy Conference: April 26, 2011. (<https://www4.eere.energy.gov/challenge/sites/default/files/uploaded-files/the-cost-of-doing-nothing.pdf>)

Beberapa hal yang menyebabkan peningkatan penggunaan energi lebih dari 5% di gedung ini adalah:

- Tidak ada kontrol kecepatan kipas angin (VAV terpasang tetapi berfungsi dengan kecepatan konstan).
- Tidak ada kontrol kecepatan pompa (VSD terpasang tetapi berfungsi dengan kecepatan konstan).
- Pendingin kotor atau salah dihidupkan.
- Kegagalan kontrol kelembaban.
- Kegagalan kontrol *night setback*.
- Kelebihan tingkat ventilasi udara luar.

Pemeliharaan lainnya yang berdampak pada penggunaan energi:

- Penggantian sensor/termostat suhu.
- Pemeliharaan filter.
- Penggantian atau perbaikan kontrol otomatis, seperti katup solenoid atau katup bermotor.

### ANSI/ASHRAE/ACCA180-2008:

Praktek Standar Pemeriksaan dan Pemeliharaan Sistem HVAC Bangunan Komersial menyediakan daftar lengkap tugas inspeksi dan pemeliharaan yang berhubungan dengan penghematan energi dan kualitas udara dalam ruangan. Beberapa tugas pemeliharaan pencegahan yang penting diperlihatkan dalam **Tabel 12** di bawah.

TABEL 12 Pemeliharaan Pencegahan Utama <sup>38</sup>		
URAIAN PEMELIHARAAN PENCEGAHAN	FREKUENSI	MANFAAT
Memeriksa jadwal dihuni vs tidak dihuni	Setiap bulan	Mengoptimalkan penggunaan energi Mengurangi peralatan <i>run time</i>
Memeriksa keakuratan termostat	Setiap tahun	Meningkatkan kenyamanan Mengurangi masa panas dan dingin Mengoptimalkan penggunaan energi dengan pengendalian yang ditentukan
Memeriksa alat pengatur udara untuk memastikan menutup atau membuka	Setiap semester	Memastikan memadainya ventilasi Mengurangi energi yang terbuang dari ventilasi berlebihan
Mengkalibrasi sensor CO <sub>2</sub>	Setiap semester	Memastikan memadainya ventilasi Mengurangi energi yang terbuang dari ventilasi berlebihan
Memeriksa akurasi sensor kelembaban relatif	Setiap kuartal	Meningkatkan kenyamanan Mengurangi energi yang terbuang dalam menghilangkan kelembaban
Mempertahankan operasi <i>economizer</i> - memeriksa suhu udara balik dan pengendali <i>economizer</i>	Setiap semester	Mengurangi penggunaan peralatan pendingin mekanik

<sup>38</sup> Sumber: ANSI/ASHRAE/ACCA.

Penerapan praktis yang patut dicontoh lainnya adalah merekam dan memantau konsumsi energi bangunan secara teratur, sehingga memungkinkan identifikasi masalah pemeliharaan dan langkah-langkah bagi perbaikan.

## 8 . S I S T E M O T O M A S I G E D U N G ( B U I L D I N G A U T O M A T I O N S Y S T E M - B A S )

Kadang-kadang juga dikenal sebagai Sistem Pengelolaan Gedung (*Building Management System* - BMS) atau Sistem Pengelolaan Lingkungan (*Environmental Management System* - EMS) adalah sistem perangkat lunak dan perangkat keras yang mengendalikan dan memantau peralatan mekanik dan listrik bangunan, seperti sistem pengkondisian udara, sistem pencahayaan, sistem daya, sistem kebakaran, dan sistem keamanan.

Sebuah studi di AS menunjukkan bahwa pelaksanaan BAS rata-rata dapat menghasilkan penghematan energi 10% untuk bangunan tipikal di AS. Namun, penghematan energi dapat bervariasi tergantung pada usia dan pemeliharaan bangunan serta implementasi BAS.<sup>39</sup>

## 9 . I N S T A L A S I P I P A & S A L U R A N

Penentuan ukuran pipa dan saluran memerlukan analisis yang cermat. Secara umum, semakin kecil pipa, semakin besar daya pompa dan konsumsi energi. Peningkatan diameter pipa dapat berdampak besar pada penurunan daya pompa: penurunan tekanan gesekan lebih kecil dari rangkaian dasar akan memerlukan penurunan tekanan lebih kecil melalui katup kontrol, untuk nilai yang sama dari katup utama.

Ukuran optimal dari sisi biaya operasional selama bangunan berfungsi (*life cycle costing*) harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- Panjang sistem
- Biaya modal
- Penurunan tekanan
- Waktu operasional pada aliran penuh dan parsial
- Penghematan dari kombinasi pompa-motor

---

<sup>39</sup> M.R. Brambley et al., "Advanced Sensors and Controls for Building Applications: Market Assessment and Potential R&D Pathways (Sensor dan Kontrol Lanjutan bagi Aplikasi Bangunan: Penilaian dan Potensi Pasar)," prepared for the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest National Laboratory (April 2005), p. 2.7.

Tip umum untuk mengurangi penurunan tekanan lintas pipa adalah dengan menggantikan belokan 90°, terutama di dekat *output* pompa, dengan belokan bersudut 120° atau lebih besar. Mungkin ini membutuhkan kerjasama arsitek dengan konsultan ME untuk memastikan ruang yang cukup bagi instalasi pipa.

Sama halnya dengan instalasi pipa, saluran (*ducting*) berdiameter yang lebih kecil dapat meningkatkan konsumsi energi sebagai akibat dari tekanan statis yang lebih besar.

Energi dapat dikurangi dalam sistem ventilasi dengan:

- Menghindari belokan yang tidak perlu;
- Menggunakan belokan bukan siku;
- Memiliki 'sepatu' di sambungan cabang untuk tee;
- Menghindari pengurangan ukuran saluran (yaitu mempertahankan luas penampang);
- Meminimalkan panjang saluran;
- Meminimalkan panjang saluran fleksibel;
- Kondisi *inlet* dan *outlet* yang baik di kedua sisi dari kipas angin;
- Menggunakan peralatan dengan penurunan tekanan yang rendah (yaitu *filter*, *attenuators*, *heat exchangers*);
- Menggunakan jumlah sambungan sesedikit mungkin;
- Memastikan disegelnya pekerjaan saluran untuk meminimalkan kebocoran udara;
- Menggunakan saluran bundar bila ruang dan biaya awal memungkinkan, karena saluran bundar menghasilkan *friction loss* yang paling rendah;
- Bilamana saluran persegi panjang digunakan, pertahankan rasio sedekat mungkin pada 1:1 untuk meminimalkan *friction loss* dan biaya awal.

Manfaat sistem penghematan energi (yaitu kecepatan rendah) dapat mengurangi pengurangan biaya listrik kipas angin hingga 70%, sedangkan biaya modal tambahan dapat dikembalikan dalam waktu kurang dari lima tahun.<sup>40</sup>

---

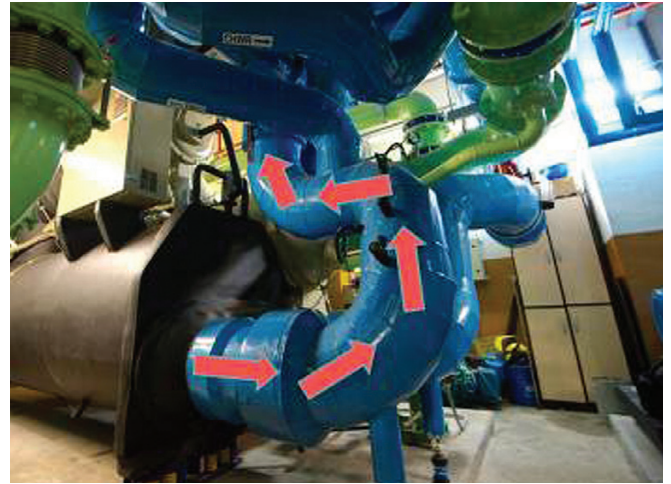
<sup>40</sup> Duct & Piping Guideline (Pedoman Saluran & Instalasi Pipa), May 2011, Kirsten Mariager.

G A M B A R . 1 5

Tata Letak Instalasi Pipa yang Kurang Optimal dengan Banyak Belokan



Beberapa contoh rangkaian instalasi pipa optimal dibandingkan pipa kurang-optimal untuk penghematan energi dapat dilihat di bawah ini.

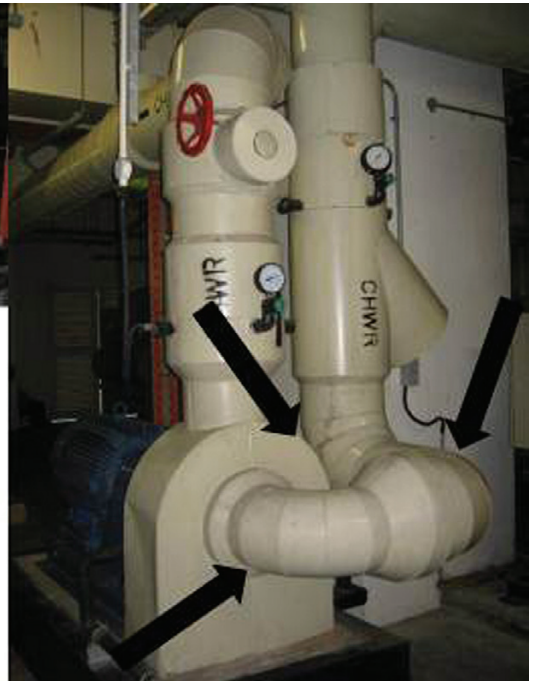


G A M B A R . 1 6

Belokan dan Tekukan Tepat pada Output Pompa yang Kurang Optimal



**Belokan tajam** pada inlet pompa menyebabkan turbulensi dan kehilangan kapasitas dan efisiensi pompa.



G A M B A R . 1 7

Tata Letak Instalasi Pipa Optimal dengan Belokan Kurang dari 90°



Sumber: UWC South East Asia - East Campus

## 10. DESAIN & OPERASI MENARA PENDINGIN (COOLING TOWER)

Efisiensi *chiller* berbanding terbalik dengan suhu air yang masuk ke dalam kondensor dari menara pendingin. Sebagaimana ditunjukkan tabel di bawah ini, efisiensi pendinginan dapat ditingkatkan dengan mengurangi suhu dari air yang masuk.

TABEL 13  
Dampak dari Suhu Air yang Masuk Kondensor pada Konsumsi Energi<sup>41</sup>

SUHU AIR KONDENSOR (°C)	ENERGI PENDINGINAN - KECEPATAN KONSTAN COP	PENG-HEMATAN ENERGI	ENERGI PENDINGINAN - KECEPATAN VARIABEL COP	PENG-HEMATAN ENERGI
29,4	6,1	Dasar	6,1	Dasar
28,3	6,4	4,2 %	6,4	4,2 %
26,7	6,6	8,0 %	6,6	10,4 %
23,9	7,2	15,6 %	7,6	20,1 %
21,1	7,8	21,9 %	8,7	29,5 %
18,3	8,4	27,1 %	9,8	37,5 %

Dianjurkan untuk mengikuti pedoman produsen menara pendingin tentang desain penempatan menara pendingin. Biasanya pedoman berisi penentuan jarak bebas minimal menara pendingin agar sebagian besar udara panas lepas dan tidak masuk ke dalam menara pendingin lagi.

GAMBAR 18  
Penempatan Menara Pendingin yang Kurang Optimal



GAMBAR 19  
Penempatan Menara Pendingin yang Optimal



<sup>41</sup> Frank Morrison, Baltimore Air Coil Company. (<http://www.emersonswan.com/ckfinder/userfiles/files/OPTIMIZING%20CHILLER%20TOWER%20SYSTEMS.pdf>)

Beberapa aplikasi praktis terbaik untuk operasi menara pendingin tersedia di:

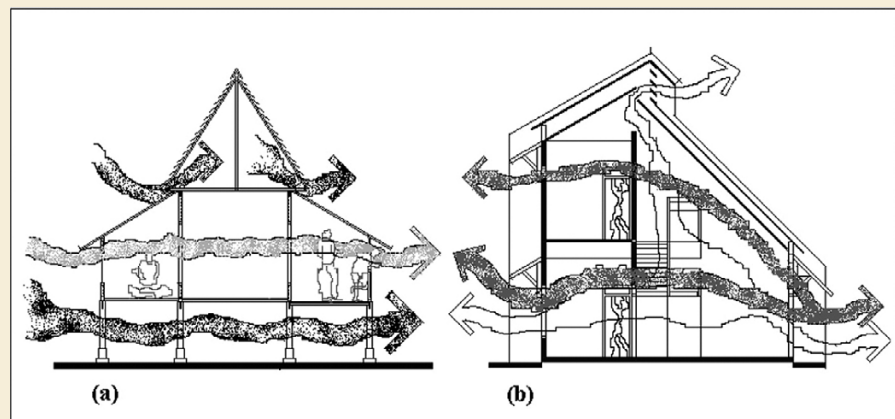
- Institute of Environmental Epidemiology, Ministry of the Environment. Code of Practice for the Control of Legionella Bacteria in Cooling Towers ([http://www.nea.gov.sg/cms/qed/cop\\_legionella.pdf](http://www.nea.gov.sg/cms/qed/cop_legionella.pdf) & <http://www.sydneywater.com.au/publications/factsheets/SavingWaterBestPracticeGuidelinesCoolingTowers.pdf>)

## 11. VENTILASI ALAMI

Salah satu cara mengurangi pendinginan mekanik, sebagai pengguna energi tertinggi di sebagian besar bangunan Jakarta, adalah dengan menggantikan ventilasi mekanik dengan ventilasi alami. Sebelum munculnya pendinginan mekanik, ventilasi alami biasa digunakan untuk meningkatkan kenyamanan penghuni. Bangunan tradisional Indonesia dirancang untuk memungkinkan ventilasi silang dan juga memiliki atap tinggi dengan bukaan bagi pelepasan udara panas.

GAMBAR 20

Pergerakan Udara Optimal dalam Bangunan Tradisional dan Kontemporer Indonesia<sup>42</sup>



a. Pergerakan Udara pada Rumah Panggung Tradisional  
b. Penempatan Ventilasi Alami yang Optimal pada Bangunan Kontemporer

Beberapa bangunan bertingkat rendah kontemporer mengadopsi cara tradisional pendinginan bangunan ini. Namun adopsi teknik ini untuk bangunan tinggi lebih sulit untuk diterapkan.

Selain menghemat energi operasional, ventilasi alami juga menghemat biaya modal melalui potensi pengurangan kapasitas pendinginan, pasokan saluran udara, saluran udara balik, dan peralatan terkait lainnya.

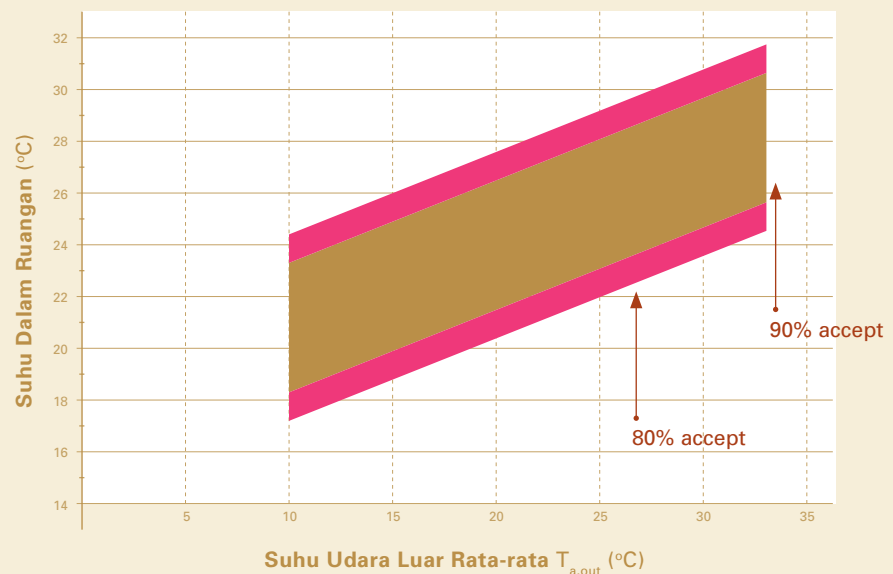
Kelayakan ventilasi alami tergantung pada iklim dan jenis bangunan. Jika suhu dan tingkat kelembaban udara di luar ruangan hampir sama

<sup>42</sup> E. Prianto, F. Bonneaud, P. Depecker and J-P. Peneau International Journal on Architectural Science, Volume 1, Number 2, p.80-95, 2000.



dengan persyaratan kenyamanan, udara luar dapat dimasukkan untuk mengurangi panas yang terkumpul dalam bangunan. Untuk beberapa bangunan dan kondisi iklim tertentu, penggunaan ventilasi alami dapat menghemat energi lebih dari 10%. Suhu dan kelembaban udara luar di Jakarta biasanya di atas standar kondisi kenyamanan dalam ruangan pada 25°C dan 60% RH. Meskipun demikian, model kenyamanan termal adaptif dari ASHRAE Standard 55 memungkinkan ventilasi alami untuk digunakan bahkan untuk suhu luar yang lebih tinggi. Model ini memperkirakan bahwa toleransi penghuni terhadap suhu lebih tinggi di dalam ruangan meningkat (ditandai dengan pita merah muda dan coklat muda pada gambar di bawah) ketika suhu di luar ruangan lebih tinggi.

G A M B A R . 2 1  
Standar Kenyamanan Termal Adaptif ASHRAE<sup>43</sup>



*Sebuah alat bantu berbasis web yang dikembangkan oleh Center for the Built Environment (University of California Berkeley) memungkinkan pengguna untuk memodifikasi berbagai parameter dan melihat dampaknya pada kenyamanan pengguna. Alat ini tersedia di <http://smap.cbe.berkeley.edu/comforttool>*

Toleransi terhadap suhu yang lebih tinggi dapat dilakukan dengan meningkatkan aliran udara dalam ruangan. Untuk ventilasi alami di iklim panas dan lembab, kecepatan udara yang lebih tinggi diperlukan untuk meningkatkan kenyamanan termal penghuni. Faktor penting lainnya adalah kesempatan bagi penghuni untuk mengendalikan aliran udara di dalam bangunan sesuai dengan preferensi mereka. Hasil penelitian tentang toleransi kecepatan aliran udara yang bisa diterima menunjukkan bahwa sebagian besar subyek menginginkan kecepatan aliran udara yang lebih tinggi, bahkan pada kecepatan di atas 0,50 m/d<sup>44</sup>. Sebaliknya, subyek yang menginginkan “kecepatan aliran udara yang lebih rendah” jumlahnya sedikit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penghuni lebih menyukai kecepatan aliran udara yang lebih tinggi untuk meningkatkan kondisi kenyamanan termal mereka.

<sup>43</sup> ANSI/ASHRAE Standard 55-2010.

<sup>44</sup> Candido, Christhina; Dear, Richard de; Lamberts, Roberto, Bittencourt, Leonardo. 2008. Natural Ventilation and Thermal Comfort: Air Movement Acceptability Inside Naturally Ventilated Buildings in Brazilian Hot Humid Zone. ([http://nceub.org.uk/uploads/W2008\\_59Candido.pdf](http://nceub.org.uk/uploads/W2008_59Candido.pdf))

Dalam perancangan dan pengoperasian sistem ventilasi alami pada bangunan yang didominasi oleh ventilasi mekanik, konflik antara kedua sistem tersebut harus dihindari. Sebagai contoh, jika jendela yang tidak beroperasi otomatis disediakan di dalam ruangan ber-AC sentral mungkin dibiarkan tetap terbuka dan dengan demikian menyebabkan kebocoran udara dingin. Pada bangunan yang menggunakan AC unit, seperti apartemen, pemanfaatan ventilasi alami jauh lebih mudah, karena pengguna memiliki kontrol untuk memilih antara ventilasi alami dan ventilasi mekanik.

Ruang transisi yang tidak dihuni secara menerus seperti lobi dan toilet, memiliki potensi untuk penerapan ventilasi alami. Sebagian besar bangunan di Jakarta tidak memiliki pintu otomatis di lobi sehingga memungkinkan banyak udara dingin bocor ke luar. Dengan demikian penggunaan ventilasi alami untuk lobi juga akan mengurangi pemborosan energi pendinginan ini.

**Standar SNI Indonesia 6572-2001 merekomendasikan penyediaan bukaan ventilasi sebesar 5% dari luas lantai. Standar ini juga menyediakan beberapa panduan untuk merancang dan menempatkan bukaan ini.**

Gedung apartemen Moulmein Rise No. 1 di Singapura memperlihatkan sebuah contoh aplikasi ventilasi alami yang sangat baik pada bangunan perumahan bertingkat tinggi. Gedung dengan denah yang tipis dan hanya dengan dua unit apartemen per lantai ini, memungkinkan diterapkannya ventilasi silang. Desain juga menggunakan teknik tradisional yang memungkinkan hembusan angin tanpa tampias. “Jendela-jendela Monsoon” ini dirancang sebagai bukaan horisontal di bawah jendela.

G A M B A R . 2 2  
Ventilasi Alami pada  
Apartemen Moulmein Rise,  
Singapura<sup>45</sup>



<sup>45</sup> Goldhagen, Sarah Williams. Sarah William Goldhagen on Architecture: Living High (Hidup Tinggi). (<http://www.newrepublic.com/article/books-and-arts/magazine/103329/highrise-skyscraper-woha-gehry-pritzker-architecture-megalopolis#>)

Ali, Zainab Faruqi. 2007. *On Site Review Report, No. 1 Moulmein Rise* ([http://www.akdn.org/architecture/pdf/3291\\_sin.pdf](http://www.akdn.org/architecture/pdf/3291_sin.pdf))

Berdasarkan laporan, penghuni dapat menghindari penggunaan AC mekanik kecuali pada hari-hari yang terpanas sepanjang tahun.

Beberapa penghuni lainnya yang diwawancarai juga mengakui bahwa konsumsi pendingin udara mereka berkurang jauh karena sistem ventilasi alami ini.

#### **Panduan lebih lanjut tentang merancang bangunan berventilasi alami dapat ditemukan di sini:**

- Walker, Andy. 2010. Natural Ventilation ([http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php?r=env\\_preferable\\_products](http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php?r=env_preferable_products))
- Good Practice Guide 237. Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings - A Guide for Designers, Developers, and Owners (<http://www.cagbc.org/AM/PDF/GoodPracticeGuide237.pdf>)
- Makalah-makalah teknis yang disajikan pada konferensi Dewan Bangunan Tinggi dan Habitat Urban (tersedia di <https://www.ctbuh.org/TallBuildings/TechnicalPapers/tabid/71/language/en-US/Default.aspx>)
  - Natural Ventilation Performance of a Double-skin Façade with a Solar Chimney (Kinerja Ventilasi Alami dari *Double-skin Façade* dengan Cerobong Tenaga Surya) by Ding, W., Hasemi, Y. & Yamada
  - Natural ventilation of tall buildings - options and limitations (Ventilasi alami gedung tinggi - pilihan dan keterbatasan) by Etheridge, David and Ford, Brian
  - Office Tower Configuration and Control for Natural Ventilation (Konfigurasi dan Kontrol Menara Kantor untuk Ventilasi Alami) by Herman, Matthew; Snyder, Jeremy & Gallagher, Denzil
  - Natural Ventilation of Residential High-Rises in Subtropical Regions (Ventilasi Alami Hunian Bertingkat Tinggi di Wilayah Subtropis) by Oswald, Ferdinand

## 12 . P E M U L I H A N E N E R G I ( E N E R G Y R E C O V E R Y )

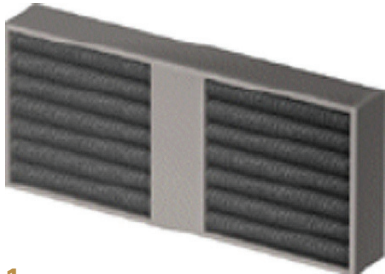
Pada bangunan ber-AC, udara bekas yang langsung dibuang keluar sangat umum dilakukan. Ini menyebabkan pemborosan energi, karena udara yang dibuang biasanya lebih dingin daripada udara segar yang masuk dari luar. Sebuah sistem ventilasi dengan *energy recovery* menangkap energi dari udara yang dibuang dan mentransfernya ke aliran udara segar dengan menggunakan penukar panas (*heat exchanger*). Dengan menghilangkan panas sensible (suhu) dan panas laten (kelembaban) dari udara luar ruangan, sistem pemulihan energi dapat menghemat biaya modal karena penurunan kapasitas sistem pendingin.

Jenis-jenis penukar panas dengan efisiensi dalam memulihkan energi dari pembuangan udara adalah:

G A M B A R . 2 3

Jenis-jenis Sistem Penukar Panas

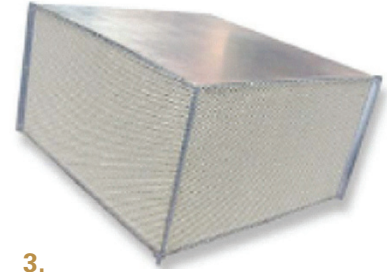
- Kumparan gulung: 55%- 65%
- *Enthalpy Wheel*: 85%
- Pipa panas: 45%-65%
- Pelat penukar panas: 80%



1.



2.



3.

1. **Pipa panas & kumparan gulung.** Hanya yang sensible.
2. ***Enthalpy Wheels.*** Sensible & Laten.
3. **Penukar panas tetap.** Sensible & Laten.

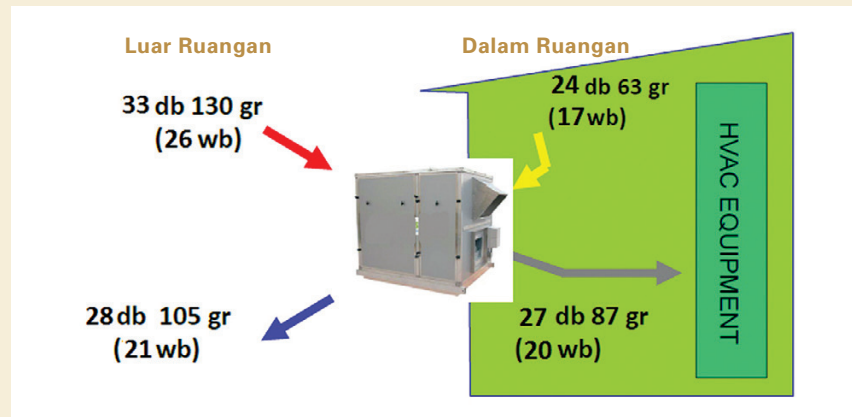
**SAVES**

<http://www.epa.gov/iaq/schooldesign/saves.html>

United State Environmental Protection Agency. School Advanced Ventilation Engineering Software (SAVES) menyediakan perangkat lunak yang bisa diunduh gratis bagi arsitek, insinyur, pejabat sekolah, dan lain-lain untuk keperluan memilih dan membandingkan peralatan *heat exchanger* bagi bangunan sekolah.

Ruangan ber-AC yang memerlukan kuantitas udara segar yang banyak memiliki potensi yang bagus bagi penerapan sistem pemulihan energi ini. Namun, pemulihan energi umumnya tidak hemat biaya dalam sistem pendingin *split* atau paket. Sebuah rekomendasi umum menganjurkan untuk menggunakan sistem pemulihan energi untuk zona tunggal yang membutuhkan minimal 2.000 cfm (944 l/d) udara segar.

Total Pemulihan dari Sistem ERV bekerja dengan menurunkan temperatur kering (*dry bulb*) dan temperatur basah (*wet bulb*) pada pasokan udara peralatan HVAC. Pada contoh di **Gambar 24**, sistem ERV terbukti mengurangi *wet bulb* dari 26°C hingga 20°C dan *dry bulb* dari 33°C hingga 26°C.



Hasil simulasi untuk beberapa bangunan tipikal di Jakarta menunjukkan bahwa, sistem pemulihan energi dengan efisiensi 50% dapat menghemat 2% sampai 8% dari total konsumsi energi. Penghematan terbesar biasanya pada rumah sakit karena memiliki persyaratan udara segar yang tinggi.

Dalam iklim panas dan lembab, perlu dipilih sistem pemulihan energi dengan efektivitas laten yang tinggi. Harus diperhatikan bahwa model yang dipilih tidak rentan terhadap kebocoran untuk memastikan tidak adanya pencampuran antara udara luar segar dengan pembuangan udara bekas.

### 1 3 . K I P A S A N G I N L A N G I T - L A N G I T ( C E I L I N G F A N )



Pada iklim yang panas dan lembab, penguapan kelembaban dari permukaan kulit memerlukan banyak energi untuk sistem pengkondisian udara dan ventilasi. Untuk mempercepat penguapan, peningkatan kecepatan aliran udara dengan menggunakan kipas angin pada langit-langit atau dinding

<sup>45</sup> Presentation by ConsERV. ([http://www.multistack.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?EntryId=85&Command=Core\\_Download&PortalId=0&TabId=136](http://www.multistack.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?EntryId=85&Command=Core_Download&PortalId=0&TabId=136))

sangat efektif untuk diterapkan. Aliran udara yang lebih tinggi juga memungkinkan untuk menaikkan suhu udara dengan tetap menjaga kenyamanan termal, sehingga penghematan energi yang lebih besar dapat dicapai.

Berdasarkan studi, para penghuni tetap merasa nyaman bahkan jika suhu meningkat 2,6°C jika aliran udara meningkat menjadi 0,8 m/d melalui kipas angin berkecepatan rendah bervolume tinggi (HVLs)<sup>47</sup>. Sebagai aturan praktis—setiap kenaikan satu derajat dalam pengaturan termostat (di atas 25,56°C) menghasilkan penghematan 6% hingga 10% energi pendinginan<sup>48</sup>. Dengan demikian, kenaikan pengaturan termostat sebesar 2,6°C dapat menyediakan penghematan energi pendinginan 14% hingga 19%.

**Tabel di bawah ini dapat digunakan untuk menentukan perkiraan jumlah kipas angin langit-langit dengan ukuran yang lazim, yang dibutuhkan untuk menyediakan aliran udara yang tepat.**

TABEL 14

**Jumlah Kipas Angin Langit-langit untuk Beragam Dimensi Ruangan<sup>49</sup>**

LEBAR RUANG	PANJANG RUANG										
	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	14 m	16 m
3 m	1200/1	1400/1	1500/1	1050/2	1200/2	1400/2	1400/2	1400/2	1200/3	1400/3	1400/3
4 m	1200/1	1400/1	1200/2	1200/2	1200/2	1400/2	1400/2	1500/2	1200/3	1400/3	1500/3
5 m	1400/1	1400/1	1400/2	1400/2	1400/2	1400/2	1400/2	1500/2	1400/3	1400/3	1500/3
6 m	1200/2	1400/2	900/4	1050/4	1200/4	1400/4	1400/4	1500/4	1200/6	1400/6	1500/6
7 m	1200/2	1400/2	1050/4	1050/4	1200/4	1400/4	1400/4	1500/4	1200/6	1400/6	1500/6
8 m	1200/2	1400/2	1200/4	1200/4	1200/4	1400/4	1400/4	1500/4	1200/6	1400/6	1500/6
9 m	1400/2	1400/2	1400/4	1400/4	1400/4	1400/4	1400/4	1500/4	1400/6	1400/6	1500/6
10 m	1400/2	1400/2	1400/4	1400/4	1400/4	1400/4	1400/4	1500/4	1400/6	1400/6	1500/6
11 m	1500/2	1500/2	1500/4	1500/4	1500/4	1500/4	1500/4	1500/4	1500/6	1500/6	1500/6
12 m	1200/3	1400/3	1200/6	1200/6	1200/6	1400/6	1400/6	1500/6	1200/n	1400/9	1400/9
13 m	1400/3	1400/3	1200/6	1200/6	1200/6	1400/6	1400/6	1500/6	1400/9	1400/9	1500/9
14 m	1400/3	1400/3	1400/6	1400/6	1400/6	1400/6	1400/6	1500/6	1400/9	1400/9	1500/9

<sup>47</sup> Marc E. Fountain and Mward A. Arens, Ph.D, Air Movement and Thermal Comfort (Pergerakan Udara dan Kenyamanan Termal), ASHRAE Journal August 1993.

<sup>48</sup> US Department of Energy - National Best Practices Manual for Building High Performance Schools (Pedoman Kebiasaan Terbaik Nasional bagi Pembangunan Sekolah Berkinerja Tinggi).

<sup>49</sup> User Guide for Indian Energy Conservation Building Code (Panduan Pengguna bagi Pedoman Bangunan Konservasi Energi India).





**DINAS PENGAWASAN  
DAN PENERTIBAN BANGUNAN  
PEMERINTAH PROVINSI DKI JAKARTA**

Jalan Taman Jati Baru No. 1  
Jakarta Barat  
t. (62-21) 856 342  
f. (62-21) 856 732

[www.dppb.jakarta.go.id](http://www.dppb.jakarta.go.id)