

DESAIN JENDELA BANGUNAN DOMESTIK UNTUK MENCAPAI “COOLING VENTILATION”

Kasus uji: rumah sederhana luas 45m² di Yogyakarta

Christina E. Mediastika

Staf Pengajar Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Email utami@mail.uajy.ac.id

ABSTRAK

Desain jendela bangunan domestik untuk mencapai “cooling ventilation” (30 air change per hour (ach)) yang sangat dianjurkan bagi bangunan di daerah tropis lembab diuji pada studi ini. Pengujian dilakukan dengan sistem komputasi dua dimensi dan difokuskan pada kondisi kecepatan angin di seputar bangunan = 0m/det. Untuk memperkirakan model, dimensi dan jumlah jendela, sebelumnya telah dilakukan uji manual pada beberapa bangunan sejenis. Hasil uji manual yang telah dilengkapi dengan data-data primer dan sekunder mengenai suhu, kecepatan dan arah angin kemudian disusun sebagai input uji komputasi. Variabel yang senantiasa dirubah pada proses uji kali ini adalah dimensi dan jumlah jendela. Uji komputasi ini juga bertujuan untuk mem-validasi hasil uji manual tersebut. Kesimpulan yang dihasilkan tidak terlalu jauh berbeda dari kesimpulan pada uji manual, yaitu bahwa untuk memperoleh tingkat ventilasi cooling (30 ach) diperlukan luas jendela sekitar 50% luas lantai.

Kata kunci: rate ventilasi, air change per hour, desain jendela, uji manual, uji komputasi.

ABSTRACT

A two dimensional computational program was used to explore type, dimension, and number of windows in a 45 sqm domestic building to achieve cooling ventilation rates in 0 m/s outdoor windspeed. Prior to this, a manual calculation was constructed to limit and predict how the input for computational test would be. As in the manual test, the type of windows to be tested is jalousie (louvre) and casement. Primary and secondary weather data was also prepared for input. Subject to change variable is dimension and number of windows. Both manual and computational test indicated that to provide cooling ventilation rates (30 ach) in 0 m/s outdoor windspeed, the domestic building requires window area of approximately 50% floor area.

Keywords : ventilation rates, air change per hour, window design, manual test, computational test.

PENDAHULUAN

Bangunan di negara tropis lembab tanpa sistem pengkondisian udara sangat tergantung pada jendela-jendela yang besar yang akan menjadi media pergantian udara pengap di dalam bangunan dengan udara yang lebih segar dari luar bangunan. Proses pergantian ini sangat tergantung pada beberapa aspek, yang masing-masing dapat dibedakan menjadi: aspek pada bangunan itu sendiri dan aspek di luar bangunan. Aspek pada bangunan meliputi, penempatan jendela (baik secara vertikal maupun horisontal), dimensi jendela dan tipe (model) jendela yang dipilih. Sedangkan aspek luar bangunan meliputi: arah dan kecepatan angin serta kerapatan dan ketinggian bangunan sekitar. Selain faktor-faktor tersebut ada beberapa faktor lain yang dapat mendukung lancarnya proses ventilasi tersebut,

diantaranya adalah: pemilihan bentuk atap, sebab ada bentuk-bentuk atap tertentu yang dapat meningkatkan kecepatan angin di sekitar bangunan. Keefektifan tingkat penghawaan dalam suatu bangunan ditentukan oleh ventilation flow rates (rate ventilasi) yang dihitung sebagai jumlah udara per m³ yang dapat dialirkan ke dalam bangunan atau ruangan setiap jamnya. Hal ini lebih dikenal dengan istilah rate air change per hour (ach). Rate air change per hour tidak memiliki satuan namun sangat tergantung pada volume ruangan/bangunan yang akan dialiri udara. Sebagai contoh bila suatu ruang dengan volume 120 m³ idealnya mendapat ventilasi 20 ach (20 udara setiap jam) maka jumlah udara yang harus dialirkan setiap jam-nya adalah 120 m³ x 20 = 2400 m³. Adapun rate ach ideal bagi suatu ruang tergantung pada tujuan yang hendak dicapai. Untuk tujuan kesehatan

penghuni diperlukan nilai *ach* 0,5 sampai 1. Untuk kenyamanan 1-5 sedangkan untuk pendinginan (*cooling ventilation*) 5-30 [EnREI Report, 1995]. Khusus untuk bangunan di negara tropis lembab disarankan pemakaian 30 *ach* sebagai standar [Moore, 1993]. *Cooling ventilation* sangat penting artinya bagi bangunan yang berada di negara tropis lembab dengan rata-rata suhu harian tinggi. Selain untuk kesehatan dan kenyamanan penghuni, *cooling ventilation* akan menjaga keawetan peralatan yang disimpan di dalam bangunan. Bagi bangunan-bangunan yang didirikan pada lokasi dengan kecepatan angin sangat rendah (mencapai 0m/s), maka idealnya desain jendela mampu mengalirkan *rate* ventilasi yang dibutuhkan pada kondisi kecepatan angin minimal ini.

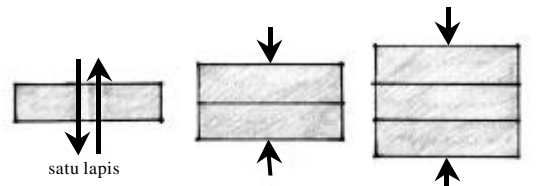
Berpedoman pada standar-standar yang telah ditetapkan untuk dapat mencapai suatu tingkatan ventilasi tertentu, maka sekiranya perlu dilakukan suatu sistem uji guna mengetahui apakah jendela yang akan, sedang atau telah kita desain, mampu memenuhi kebutuhan tingkat ventilasi bagi ruang di dalamnya. Idealnya proses uji ini dilakukan pada saat proses desain atau sebelum bangunan diwujudkan. Namun demikian pada suatu kondisi tertentu proses uji purna huni juga dapat bermanfaat. Sebagai contoh pada proses evaluasi purna huni dijumpai adanya ketidaknyamanan ventilasi di dalam ruang, uji desain dilakukan untuk membantu pemilihan model jendela baru guna renovasi bangunan. Pengujian jendela pada bangunan sederhana khususnya rumah sederhana diperlukan. Hal ini dikarenakan terbatasnya biaya pembangunan rumah sederhana yang menyebabkan detail bangunannya dirancang dengan sederhana termasuk desain jendelanya. Perancangan jendela pada bangunan ini umumnya hanya berdasar pertimbangan bahwa suatu rumah memerlukan jendela, namun bagaimana letak, dimensi dan tipe jendelanya tidak mendapatkan perhatian yang serius.

DASAR PEMIKIRAN

Rate ventilasi pada suatu bangunan dapat dimaksimalkan dengan memperhatikan beberapa faktor, diantaranya adalah: layout bangunan, pemilihan bentuk atap dan desain jendela (kondisi pada bangunannya sendiri) serta arah dan kecepatan angin, kerapatan dan ketinggian bangunan sekitar (kondisi di luar bangunan).

Layout bangunan

Guna mendapatkan *rate* ventilasi yang baik, suatu bangunan idealnya dibuat satu lapis (*single zone layer*), artinya ruang-ruang di dalam bangunan memiliki jendela *inlet* dan *outlet* pada arah yang berlawanan (tidak ada sekat-sekat sehingga memungkinkan terjadinya ventilasi silang) sempurna. Gambar 1 Menunjukkan perbedaan antara layout bangunan satu lapis dan lebih dari satu lapis.



Gambar 1. Bangunan atau Ruang Satu, Dua dan Tiga Lapis dan Kemampuannya Mengalirkan Udara

Pemilihan Bentuk Atap

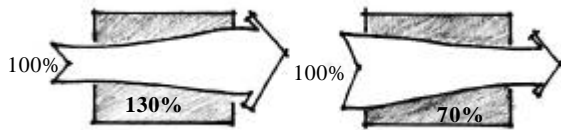
Bentuk atap akan sangat mendukung tercapainya peningkatan kecepatan angin yang dikehendaki. Atap berbentuk kubah segitiga sebagaimana umumnya bangunan Indonesia mampu meningkatkan kecepatan udara di sekitar bangunan bila dibandingkan atap datar [Givoni, 1976]

Desain Jendela

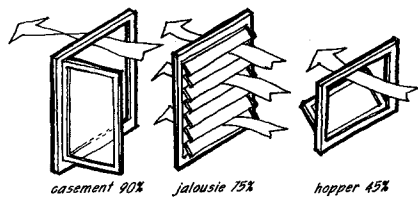
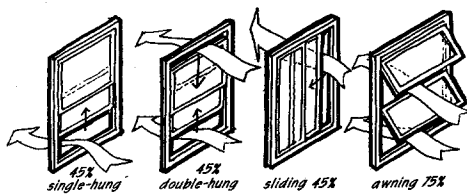
Desain jendela dipengaruhi faktor-faktor meliputi penempatan, dimensi dan tipe atau model jendela yang dipilih. Pada layout bangunan satu lapis sangat dimungkinkan terjadinya ventilasi silang sempurna (sudut 180°) secara horisontal. Ventilasi silang juga akan lebih maksimal apabila penempatan secara vertikal ikut diperhitungkan. Jendela yang berfungsi sebagai *inlet* (memasukkan udara) sebaiknya diletakkan pada ketinggian manusia yaitu 60cm-150cm (aktivitas duduk maupun berdiri), agar udara dapat mengalir di sekitar manusia tersebut untuk memperoleh rasa nyaman yang diharapkan. Sedangkan jendela yang berfungsi sebagai *outlet* (mengeluarkan udara) diletakkan lebih tinggi, agar udara panas dalam ruang dapat dengan mudah dikeluarkan.

Ventilasi akan lebih lancar bila didukung dengan kecepatan udara yang memadai. Pada kondisi udara hampir tidak bergerak (kecepatan sangat kecil atau 0 m/det), desain jendela harus mampu mendorong terjadinya pergerakan yang lebih cepat atau memperbesar kecepatan udara. Hal ini dapat ditempuh dengan memilih dimensi

jendela yang berbeda antara *inlet* dan *outlet* (Gambar 2) atau dengan memilih tipe jendela yang berbeda kemampuan mengalirkan udara (Gambar 3).



Gambar 2. Perbedaan Dimensi Inlet dan Outlet akan Meningkatkan atau Menurunkan Kecepatan Udara



Gambar 3. Beberapa Tipe Jendela dan Area Efektif yang Mengalirkan Udara [Moore, 1993]

Kecepatan dan Arah Angin Serta Kerapatan dan Ketinggian Bangunan Di Sekitarnya.

Kecepatan dan arah angin adalah faktor di luar bangunan yang berperan sangat penting dalam menentukan tingkat ventilasi di dalam bangunan. Kecepatan angin yang cukup dan arah yang langsung menuju pada *inlet* memungkinkan terjadinya pertukaran udara yang lancar. Keberadaan bangunan atau objek-objek besar lain di sekitar bangunan akan mengurangi laju udara dan membelokkan arah angin. Oleh karenanya pada kondisi dimana bangunan berada di area yang rapat bangunan, perlu diusahakan desain jendela dan detail desain bangunan lainnya yang akan mampu mengembalikan arah dan kecepatan angin.

Pada suatu area yang rapat bangunan, angin tidak dapat datang pada arah 90° (frontal tegak lurus jendela), sebab diperlukan jarak tempuh setidaknya 6 kali tinggi penghalang yang dilewatinya bagi angin untuk kembali pada arahnya semula [Koenigsberger, 1973]. Kondisi bangunan yang rapat mengakibatkan angin

datang membentuk sudut lancip (kurang dari 90°) terhadap jendela.

PEMASALAHAN

Bagaimana desain jendela suatu rumah tinggal sederhana (45m^2) dapat mengalirkan udara ke dalam bangunan untuk mencapai ventilasi pendinginan (*cooling ventilation*) pada kondisi kecepatan angin 0 m/det ? Rancangan tetap mengacu pada bentuk jendela yang sederhana (secara desain dan biaya) melalui suatu proses pengujian komputasi dua dimensi. Desain yang dimaksud adalah perletakan, dimensi dan tipe (model) jendela. *Rate* ventilasi yang hendak dituju untuk tujuan *cooling ventilation* adalah $30 \text{ air change per hour (ach)}$.

METODE

Ada beberapa jenis pengujian *rate* ventilasi yang dapat digunakan yaitu pengujian secara teoritis, laboratorium dan lapangan. Pengujian lapangan adalah pengujian paling valid yang datanya dapat dipertanggungjawabkan, karena pada pengujian ini kondisi di lapangan sangat menyerupai kondisi aslinya. Namun demikian pengujian ini membutuhkan biaya sangat besar, karena harus dibuat model sebuah bangunan asli. Pada pengujian laboratorium, biaya dapat lebih dihemat karena model bangunan dapat dibuat miniaturnya. Dalam kondisi waktu dan biaya sangat terbatas pengujian secara teoritis dapat menjadi pilihan. Uji teoritis dapat berupa uji komputasi atau uji manual.

Pada studi kali ini dipilih uji dengan sistem komputasi dua dimensi. Software yang digunakan bernama BREVENT yang dirancang oleh Building Research Establishment (BRE) UK; suatu badan riset independen. BREVENT adalah suatu model ventilasi *single-zone* untuk menghitung total *rate* ventilasi pada bangunan. Sebagai software sederhana yang sengaja diciptakan untuk menghitung *rate* ventilasi dalam waktu yang singkat dan data input yang terbatas, BREVENT tidak mampu menunjukkan terjadinya aliran udara dari ruang-ruang yang ada dalam bangunan. Dalam BREVENT udara hanya berada di dua tempat, yaitu di luar dan di dalam bangunan. Hal ini berarti bangunan yang diuji haruslah disederhanakan dalam wujud bangunan satu lapis dimana semua sekat di dalam bangunan ditiadakan. Model ini mencukupi apabila yang diuji adalah total *air change per hour*

atau jumlah aliran udara yang melewati komponen tertentu. Untuk menguji aliran per ruang diperlukan model lain yang memerlukan waktu lebih banyak dan data input lebih lengkap, yaitu model uji tiga dimensi seperti BREEZE (dari BRE) atau dengan program CFD. BREVENT telah banyak digunakan pada riset-riset yang diselenggarakan di BRE dan telah divalidasi melalui terpilihnya software ini untuk penyusunan *UK Building Regulations* untuk bangunan rumah tinggal dan untuk menyusun standar ventilasi di Eropa (CEN).

Data-data signifikan yang diperlukan dalam uji komputasi ini adalah data-data mengenai suhu udara dan kecepatan udara yang meliputi suhu di luar dan di dalam bangunan, mulai suhu tertinggi dan terendah yang pernah dan diprediksikan akan terus terjadi. Data kecepatan udara juga terdiri dari kecepatan tertinggi dan terendah yang dialami disekitar bangunan dan diprediksikan akan terus terjadi. Rangkaian data suhu dan kecepatan udara tertinggi dan terendah ini memungkinkan program melakukan serangkaian proses uji dengan sistem tingkatan, yaitu mengkombinasikan data suhu dan kecepatan udara secara bertahap untuk menghasilkan serangkaian data hasil yang akan memperkaya proses analisis. Sebagai contoh, menurut data primer dan pengamatan pada beberapa data sekunder pada tahun-tahun sebelumnya dapat dinyatakan dan diprediksikan bahwa kecepatan udara di sekitar bangunan berkisar pada 0 m/det sampai 2m/det, suhu udara di luar bangunan berkisar 18°C sampai 32°C dan suhu di dalam bangunan berkisar 20°C sampai 32°C. Bila tingkatan pengujian ditentukan berubah setiap perbedaan kecepatan udara 0,5 m/det dan setiap perubahan suhu 1°C, maka program akan menguji *rate* ventilasi di dalam bangunan dengan mengkombinasikan lima kecepatan udara berbeda, yaitu: 0m/det, 0,5 m/det, 1 m/det, 1,5 m/det dan 2 m/det, empat belas suhu luar yang berbeda, yaitu: 18°C, 19°C, 20°C, 21°C, 22°C, 23°C, 24°C, 25°C, 26°C, 27°C, 28°C, 29°C, 30°C, 31°C, dan 32°C serta tiga belas suhu dalam berbeda, yaitu: 20°C, 21°C, 22°C, 23°C, 24°C, 25°C, 26°C, 27°C, 28°C, 29°C, 30°C, 31°C, dan 32°C. Dengan data yang bervariasi ini akan dihasilkan 910 data *rate* ventilasi yang terjadi pada bangunan tersebut. Data sejumlah ini mencukupi untuk menganalisis hasil uji pada sebuah bangunan saja. Adapun data-data lain yang diperlukan sebagai input selain ketiga data signifikan diatas, disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data-data Input untuk Pengujian dengan BREVENT

Spesifikasi	Nilai	Keterangan	Asal data
Tipe bangunan	Kopel	Satu sisi dinding ada yang menyatu dengan dinding tetangga	Petunjuk manual Brevent Pilihan yang tersedia: terpisah, sebagian terpisah, dinding kiri dan kanan menempel dengan bangunan di sebelahnya
Lebar depan bangunan I	A 3 m B 7,5 m	Gambar 4 I	Data primer dan proses desain ¹
Lebar depan bangunan II	A 4 m B 7 m	Gambar 4 II	Data primer dan proses desain
Lebar samping bangunan I	A 5 m B 4 m	Gambar 4 I	Data primer dan proses desain
Lebar samping-bangunan II	A 6 m B 3 m	Gambar 4 II	Data primer dan proses desain
Tinggi dinding	2,5 m	Tinggi dari lantai ke batas dinding atas (plafon)	Data primer dan proses desain
Tinggi bangunan	3,9 m	Tinggi dari lantai ke puncak atap	Data primer dan proses desain
Orientasi muka bangunan	0	Sudut bangunan terhadap angin datang	Data primer dan proses desain
Suhu dalam terendah	20°C	-	Data primer
Suhu dalam tertinggi	32°C	-	Data primer
Suhu luar terendah	18°C	-	Data Primer dan sekunder
Suhu luar tertinggi	32°C	-	Data Primer dan sekunder
Kecepatan angin terendah	0 m/det	Kecepatan angin di sekitar dan pada ketinggian bangunan	Data Primer dan sekunder
Kecepatan angin tertinggi	2 m/det	Kecepatan angin di sekitar dan pada ketinggian bangunan	Data Primer dan sekunder
Sudut awal	30°	Sudut angin di sekitar dan pada ketinggian bangunan	Data primer dan sekunder
Sudut akhir	60°	Sudut angin di sekitar dan pada ketinggian bangunan	Data primer dan sekunder
Tinggi anemometer	10 m	-	Ketentuan BREVENT
Eksponen profil angin	0,33	-	Ketentuan BREVENT untuk eksponen profil angin di perkotaan
Perbedaan tekanan	50 Pa	-	Ketentuan BREVENT berdasar yang umum terjadi
Eksponen leakage	0,6	-	Ketentuan BREVENT berdasar yang umum terjadi
Kerapatan bangunan	0,35	-	Data primer berdasar perbandingan luas bangunan dan luas area terbuka
Model, dimensi, dan jumlah jendela	Inlet Model: jalusi (<i>krepjak</i>) Dimensi: 1,5 m ² Jumlah: 10-12 buah Outlet Model: casement (buka samping) Dimensi: 1,5 m ² Jumlah: 10-15 buah	Untuk dimodifikasi jumlahnya pada pengujian BREVENT (Gambar 5)	Data primer hasil pengujian manual [Mediastika, 2001]

¹ Yang dimaksud dengan proses desain adalah kombinasi atau modifikasi dari pengamatan kondisi di lapangan terhadap desain bangunan yang hendak diuji yang kemudian disempurnakan desainnya mendekati desain ideal, hal ini sekaligus bermanfaat apabila suatu saat bangunan yang sudah ada perlu direnovasi untuk mendapatkan suatu tingkat ventilasi tertentu.

Keseluruhan data baik yang signifikan maupun tambahan dapat divariasikan atau diubah pada saat pengujian. Semakin banyak data input yang divariasikan maka akan semakin banyak pula data yang dihasilkan. Namun demikian tentulah tidak memungkinkan merubah semua input sehingga diperoleh begitu banyak data, karena ini justru akan menyulitkan analisis. Dengan demikian perlu dibatasi mana data input yang hendak divariasikan dan mana yang tidak. Pemilihan ini ditentukan berdasarkan apa yang hendak diteliti lebih mendalam. Pada studi ini variasi diutamakan pada suhu udara saja. Kecepatan angin juga divariasikan, namun pengujian utamanya dilakukan untuk melihat kemampuan jendela pada kecepatan angin 0 m/det, sehingga kecepatan angin lebih dari 0 m/det hanya digunakan untuk melihat apakah ada kecenderungan peningkatan *rate* ventilasi. Data input lainnya telah ditentukan dan disempitkan melalui suatu proses uji manual [Mediastika, 2001]. Dengan demikian data yang dihasilkan dapat terfokus pada variabel-variabel terpenting saja. Lebih khusus dalam studi ini hendak dilihat desain jendela yang mampu mengalirkan 30 *ach* pada bangunan dalam kondisi kecepatan angin 0 m/det. Sengaja dipilih kecepatan 0m/det karena tanpa didukung faktor-faktor lain, maka dalam kondisi angin 0 m/det, *rate* ventilasi dalam bangunan bernilai 0. Faktor-faktor pendukung ini hendak coba ditemukan dalam pengujian.

Proses pengujian secara komputasi dua dimensi sengaja dipilih untuk memperkuat indikasi yang telah ditunjukkan oleh pengujian manual bahwa untuk memperoleh *rate cooling ventilation* suatu rumah sederhana di daerah tropis lembab dengan kecepatan angin rata-rata rendah memerlukan luas jendela kira-kira sama dengan 50% luas lantainya [Mediastika, 2001].

Persamaan-persamaan

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk membangun cara kerja program komputer yang hendak digunakan adalah sebagai berikut: Untuk menghitung volume aliran udara melalui lubang ventilasi kecil digunakan persamaan:

$$Q = F.A. \left(\frac{2|\Delta P|}{\tilde{n}} \right) \text{sign}(\Delta P) \quad (1)$$

Nilai ΔP tergantung dari tinggi lubang ventilasi dari muka tanah karena adanya pengaruh efek *stack* (persamaan $\Delta P(z) = P(\text{ISURF}) - P_I - (\Delta \rho \cdot g \cdot z)$), tetapi luas lubang ventilasi diasumsikan kecil sehingga tidak ada variasi

nilai ΔP diatas lubang ventilasi yang perlu diperhitungkan. Fungsi F dapat berupa suatu koefisien (C_d) pada penghitungan lubang ventilasi besar atau digunakan angka Reynolds bila nilainya lebih besar dari 1000.

Untuk menghitung volume aliran udara melalui jendela atau lubang ventilasi besar lainnya digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{WIN}{b} \left[\frac{|X_2|^{1.5}}{\tilde{n}_2^{1/2}} - \frac{|X_1|^{1.5}}{\tilde{n}_1^{1/2}} \right] \quad (2)$$

$$WIN = \frac{2\sqrt{2}}{3} (f.H.w.C_d) \quad (3)$$

Jika garis netral aliran udara berada di dalam frame jendela, maka akan terjadi aliran udara pada arah yang berlawanan melalui jendela tersebut. Term pertama pada persamaan (2) menunjukkan aliran di bawah garis netral, term kedua menunjukkan aliran di atasnya. Bila aliran terjadi di bawah atau di atas garis netral, kerapatan aliran udara pada kondisi ini akan sedikit berbeda. Bila sekiranya hal ini dianggap signifikan maka ρ_1 dan ρ_2 harus di-set tersendiri menurut arah alirannya, ρ_i untuk arah aliran keluar dan ρ_o untuk arah aliran masuk.

Jika garis netral berada di luar frame jendela maka udara akan mengalir dalam arah yang sama, oleh karenanya baik ρ_1 dan ρ_2 akan memiliki nilai yang sama, ρ_i untuk arah aliran keluar dan ρ_o untuk arah aliran masuk.

Bila perbedaan suhu udara antara luar dan dalam ruangan adalah 0, term kerapatan juga menjadi 0 ($\rho_i = \rho_o$). Dalam kasus ini persamaan (2) menjadi tidak valid (karena dibagi dengan 0). Oleh karenanya perlu digunakan aturan L'Hospital, meskipun demikian ketentuan Q pada $\Delta T=0$ tetap berlaku.

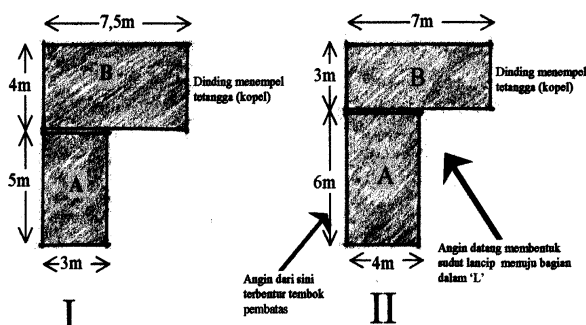
$$Q(\Delta T=0) = \frac{WIN}{\left[\tilde{n} \cdot 1.5 \cdot |a|^{0.5} \cdot (Z_t - Z_1) \cdot \text{sign}(a) \right]} \quad (4)$$

Hasil dari hitungan ini dapat diperoleh dari proses integrasi terhadap persamaan (1). Hal ini lebih mudah karena nilai ΔP tidak tergantung pada tinggi, sebab $\Delta T=0$.

TAHAPAN PERSIAPAN

Pada tahap persiapan pengujian dilakukan penginventarisasian data-data yang diperlukan sebagai input. Adapun daftar data-data yang diperlukan dan cara perolehannya termuat dalam Tabel 1.

Oleh karena BREVENT hanya mampu menguji bangunan dalam wujud sederhana satu lapis, maka bangunan rumah sederhana seluas 45 m² yang hendak diuji perlu dimodifikasi menjadi 2 bangunan satu lapis. Hal ini dikarenakan tidak memungkinkan merancang bangunan seluas 45m² dalam wujud satu bangunan satu lapis, sebab tentu akan dihasilkan bangunan sangat memanjang. Untuk menghasilkan bangunan satu lapis yang efektif maka luas 45 m² sengaja dirancang dalam bentuk 'L' sehingga sebagian besar bangunan merupakan bangunan satu lapis. Adapun pembagian luasan bangunan menjadi bentuk 'L' adalah sebagaimana dapat disaksikan pada Gambar 4 I dan 4 II.



Gambar 4. Dua Model Bangunan Berbentuk 'L' dengan Pembagian Luasannya

Angin dirancang untuk bertiup membentuk sudut <math><90^\circ</math> terhadap muka bangunan menuju bagian dalam 'L' (Gambar 4II). Bagian luar 'L' tidak diuji karena sangat tidak memungkinkan angin melampaui batas tembok pembatas tinggi yang umumnya dibangun pada sisi ini, sebagai batas dari rumah tetangga. Adapun sudut yang diuji adalah 30° dan 60° . Sedangkan untuk desain jendela; sebagaimana diindikasikan pada pengujian manual; maka dipakai desain jalusi (*krepyak*) untuk *inlet* dan casement (buka samping) untuk *outlet*. Uji manual yang telah dilakukan memberikan petunjuk mengenai perkiraan jenis, dimensi dan jumlah jendela, sebagaimana telah termuat dalam Tabel 1 baris terakhir.

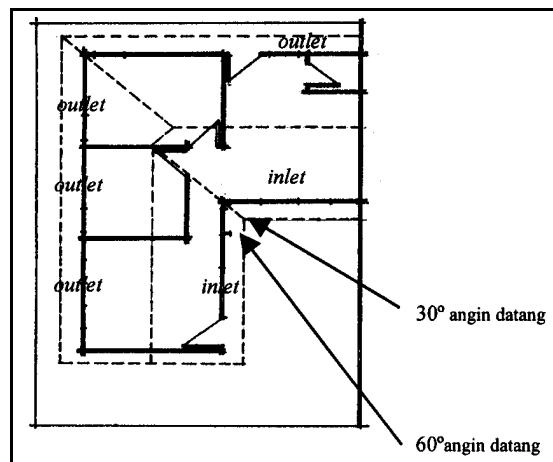
PENGUJIAN, HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan serangkaian data input yang telah dipersiapkan, pengujian dengan BREVENT memberikan hasil sebagaimana termuat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sebagian Hasil Pengujian untuk Rumah Tipe I (Gambar 4I)

No. ekspr.	Spesifikasi jendela dan prosentase area jendela terhadap area lantai (gabungan luasan A dan B)	Minimum ACH ($v = 0 \text{ m/det}, \Delta t \neq 0$) Nilai rata-rata dari luasan A dan B
1	Jumlah jendela input 10 , jumlah jendela output 9 (63%)	63,0
2	Jumlah jendela input 9, jumlah jendela output 8 (57%)	49,0
3	Jumlah jendela input 8, jumlah jendela output 7 (50%)	40,0
4	Jumlah jendela input 7, jumlah jendela output 7 (47%)	35,5
5	Jumlah jendela input 6, jumlah jendela output 6 (40%)	30,0
6	Jumlah jendela input 5, jumlah jendela output 7 (40%)	31,0
7	Jumlah jendela input 5, jumlah jendela output 6 (37%)	25,0
8	Jumlah jendela input 5, jumlah jendela output 4 (30%)	19,5

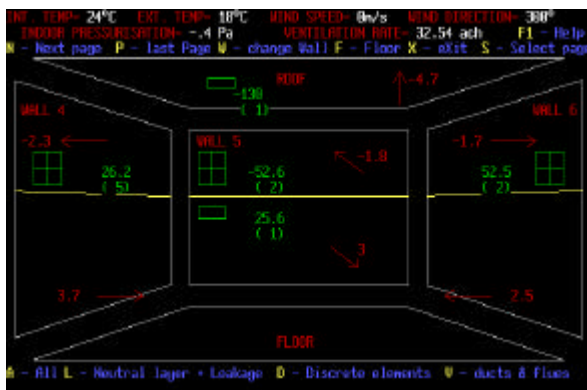
(v = kecepatan angin, Δt = perbedaan suhu dalam dan luar)



Gambar 5. Contoh desain rumah tipe 45 dengan bentuk 'L' serta penempatan *inlet* dan *outlet*

Tabel 3. Sebagian Hasil Pengujian untuk Rumah Tipe II (Gambar 4II)

No. ekspr.	Spesifikasi jendela dan prosentase area jendela terhadap area lantai (gabungan luasan A dan B)	Minimum ACH ($v = 0 \text{ m/det}, \Delta t \neq 0$) Nilai rata-rata dari luasan A dan B
1	Jumlah jendela input 9, jumlah jendela output 10 (63%)	65,0
2	Jumlah jendela input 8, jumlah jendela output 9 (57%)	50,0
3	Jumlah jendela input 7, jumlah jendela output 8 (50%)	40,5
4	Jumlah jendela input 6, jumlah jendela output 8 (47%)	36,0
5	Jumlah jendela input 5, jumlah jendela output 7 (40%)	30,5
6	Jumlah jendela input 4, jumlah jendela output 8 (40%)	31,5
7	Jumlah jendela input 5, jumlah jendela output 6 (37%)	25,0
8	Jumlah jendela input 5, jumlah jendela output 5 (33%)	21,0



Gambar 6. Contoh *Output* Dalam Bentuk Gambar pada BREVENT

Dari pengujian diperoleh indikasi bahwa aliran 30 *ach* pada rumah sederhana seluas 45 m² dimungkinkan bahkan pada kondisi kecepatan angin 0 m/det sekalipun. Faktor utama pendukung terciptanya aliran 30 *ach* ini adalah adanya perbedaan suhu antara ruang dalam dan ruang luar. Pada kondisi perbedaan suhu (Δt) = 0 dan kecepatan angin 0 m/det nilai *ach* yang dialirkan = 0. Keadaan ini tidak dapat diperbaiki dengan desain jendela apapun, sebab tidak ada perbedaan tekanan yang otomatis tidak mendorong terjadinya aliran pada udara diam. Namun demikian kejadian dimana suhu luar dan dalam sama tingginya ini tidak akan berlangsung lama, sebab bila tidak ada udara dialirkan ke dalam ruang maka suhu ruang akan segera meninggi sehingga secara otomatis tercipta perbedaan suhu kembali. Adapun kondisi dimana kecepatan angin 0 m/det sangat perlu dipertimbangkan dalam desain sebab keadaan ini dapat berlangsung lama mengingat kecepatan angin rata-rata di negara kita cukup rendah dan kerapatan bangunan yang terus meningkat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Studi menunjukkan bahwa luas jendela yang diperlukan untuk mengalirkan 30 *ach* pada kecepatan angin 0 m/det ($\Delta t \neq 0$) mencapai minimal 40% luas lantainya (Tabel 2 dan 3, No Eksp 5 dan 6). Uji desain juga menunjukkan bahwa pada saat desain bangunan dibuat lebih "kurus" atau "gemuk" pada salah satu sisi 'L' tidak memberikan pengaruh besar terhadap rate ventilasi yang dihasilkan (Gambar 4I dan 4 II). Secara garis besar, dalam studi ini disimpulkan bahwa:

- Pada kecepatan angin 0 m/det, yang sangat berperan dalam menciptakan aliran udara adalah perbedaan suhu dalam dan luar (perbedaan tekanan)
- Semakin besar perbedaan suhu dalam dan luar, semakin besar rate ventilasi dihasilkan
- Pada kecepatan angin rendah 0m/det sampai 1 m/det sudut datang 30° atau 60° tidak memberikan rate ventilasi terlalu berbeda, namun pada kecepatan angin lebih tinggi dari 1,5 m/det, sudut 60° menghasilkan rate ventilasi yang sedikit lebih tinggi yang besarnya bervariasi tergantung pada kecepatan anginnya.
- Dengan jumlah total jendela sama, maka bila jumlah jendela outlet lebih banyak dari jendela inlett, akan dihasilkan rate ventilasi sedikit lebih besar (± 1 *ach*). Hal ini ditunjukkan pada eksperimen 5 dan 6 Tabel 2 dan 3. Namun demikian tidak dijumpai adanya kecenderungan rate ventilasi akan terus meningkat bila selisih luasan outlet dan inlet terus ditambah. Pada suatu kondisi tertentu selisih luasan yang terlalu jauh justru akan menurunkan rate ventilasi.

Uji desain jendela yang dilakukan pada studi ini difokuskan pada rumah sederhana tipe 45 (45 m²) pada situasi dan kondisi di Yogyakarta, namun demikian pembahasan yang diperoleh dari proses uji tidak menunjukkan bahwa hasil uji ini hanya spesifik berlaku di Yogyakarta saja. Sebab sangat dimungkinkan pada rumah-rumah sejenis lainnya di kota-kota yang memiliki kondisi cuaca serupa dengan Yogyakarta, kecepatan angin 0m/det muncul secara dominan. Hal ini dapat terjadi mengingat kebutuhan lahan yang terus meningkat - sehingga kerapatan bangunan bertambah- yang berarti semakin menurunnya kecepatan angin disekitar bangunan. Dengan demikian studi ini dapat juga memberikan gambaran desain jendela yang diperlukan bagi rumah-rumah sejenis yang umumnya memperoleh kecepatan angin 0 m/det.

DAFTAR NOTASI

Persamaan (1)

- ΔP = $P(\text{ISURF}) - P(\text{I-bh}/H)$
 = perbedaan tekanan yang melalui lubang ventilasi tersebut, diturunkan dari persamaan $\Delta P(z) = P(\text{ISURF}) - P(\text{I} - (\Delta p.g.z))$
- b = $\Delta p.g.H$ (term efek *stack*)
- h = tinggi lubang ventilasi dari muka tanah (m)
- F = $F(\text{Re, geometri lubang ventilasi})$

Re = angka Reynolds
 A = luas lubang ventilasi (m²)
 ρ = kerapatan udara yang mengalir; ρ₀ atau ρ_I, tergantung petunjuk pada ΔP

Persamaan (2)

X₁ = a-bZ_t
 X₂ = a-bZ₁
 A = P(ISURF)-PI
 B = Δρ.g.H
 Z₁ = Z₁/H
 Z₁ = tinggi ambang bawah jendela (m)
 H = tinggi ambang batas atas jendela (m)
 F = faktor pembukaan (0 = tertutup dan 1 = terbuka penuh)
 Z_t = (Z₁+h)/H
 ρ₁, ρ₂ = kerapatan aliran udara (kg/m³)
 Z_t, Z₁ = tinggi ambang batas atas dan bawah jendela yang telah dinormalkan

Persamaan (3)

h = tinggi jendela (m)
 w = lebar jendela (m), i.e. h.w = luas jendela
 C_d = koefisien discharge

Mediastika, C.E, *Design Solutions for Naturally Ventilated Houses in a Hot Humid Region with Reference to Particulate Matter and Noise Reduction*, Disertasi PhD, University of Strathclyde, Glasgow, UK, 1999

Mediastika, C.E. *Uji Manual Desain Jendela pada Rumah Sederhana*, Laporan Penelitian (tidak dipublikasikan), Yogyakarta, 2001

Moore, Fuller, *Environmental Control Systems*, McGraw-Hill Inc., 1993: 30, 179-187, 192-193

DAFTAR PUSTAKA

- , *Avoiding or Minimising the Use of Air Conditioning*, EnREI Report no 31, BRE, UK, 1995: 16-17
- Burt, W., dkk., *Windows and Environment*, Pilkington Brothers Limited, Newton-le-Willows, 1969: 4.7-4.13, 5.26-5.27
- Collin, Ian D. and Eric J. Collins, *Window Selection*, Newnes Butter-worths, London, 1977: 10-24, 20-21, 64-66
- Cripps, Andrew, *BREVENT Manual*, Building Research Establishment, UK, 1992
- Data Klimatologi*, Badan Meteorologi, Dinas Navigasi Udara, TNI-AU, Yogyakarta, Indonesia, 1994/1995
- Givoni, B., *Man Climate and Architecture*, Applied Science Publishers Ltd., London, 1976: 6, 289-306
- Koenigsberger, O.H., dkk., *Manual of Tropical Housing and Building*, Orient Longman, Bombay, India, 1973: 129
- Lechner, Nobert, *Heating, Cooling, Lighting (Design Methods for Architect)*, John Wiley and Sons, New York, 1991: 29-32, 187, 190-191