

## ALTERNATIF DISAIN ARSITEKTUR DAERAH TROPIS LEMBAB DENGAN PENDEKATAN KENYAMANAN THERMAL

**Eddy Prianto**

Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Arsitektur – Universitas Diponegoro - Semarang

### ABSTRAK

Suhu udara dan tingkat kelembaban yang tinggi ( $T > 28^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{RH} > 70\%$ ) di daerah tropis lembab merupakan suatu kendala untuk mendapatkan kenyamanan. Namun hal ini dapat diatasi dengan penciptaan aliran udara di dalam ruangan dengan kecepatan yang cukup tinggi. Sirkulasi udara di dalam ruangan tidak hanya ditentukan oleh kecepatan udara exterior tetapi juga oleh penempatan element design arsitektur. Study ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari design arsitektur suatu bangunan berventilasi alamiah dalam tercapainya situasi nyaman. Beberapa alternative design arsitektur seperti keberadaan balkon dan penataan tata ruang interior yang dibangun dengan modelisasi numerik diuji coba dalam penelitian ini.

Hasil analisis menunjukkan bahwa keberadaan balkon dan penataan interior mempunyai peranan yang signifikan dalam usaha memperbaiki kondisi kenyamanan thermal di dalam ruangan, akan tetapi hal tersebut tidaklah selalu membutuhkan kecepatan udara yang tinggi.

**Kata kunci:** Daerah tropis lembab, kenyamanan thermal, design arsitektur, simulasi numerik, kecepatan udara di dalam ruangan.

### ABSTRACT

*One important challenge to provide comfort in tropical humid region is an elevated air temperature and a high relative humidity. In this climate, it could be solved by providing high interior air flows. Air flows in building theoretically needed to restore comfort, therefore, the buildings should be designed to provide cross ventilation. Air movements inside a building depend not only on external wind velocity, but also a number of architectural design element. This study aims to find out the effect of architectural design in naturally ventilated building to obtain thermal comfort in tropical humid regions. The applicability of some architectural design elements such as balcony configuration, and internal division established by numerical modelled was assessed.*

*The analysis shows that balcony configurations and interior division plays a significant role in modifying the indoor thermal condition but it doesn't always need a higher air speed.*

**Keywords :** *thermal comfort, the new index PMV\*, architectural design elements, naturally-ventilated building, tropical humid regions t.*

### PENGANTAR

Di daerah tropis lembab dengan rata-rata suhu udara tahunan dan kelembaban relatif tinggi, menuntut terciptanya ventilasi silang dalam bangunan untuk mencapai kondisi nyaman bagi penghuninya. Menurut pendapat Fanger, kombinasi suhu udara dan kelembaban mempunyai pengaruh yang kuat terhadap kualitas udara dalam ruangan, dan hal ini menentukan standart ventilasinya [Fanger 01]. Besaran dan pola aliran udara di dalam ruangan tidak hanya tergantung dari kecepatan udara luar tetapi juga ditentukan oleh elemen-elemen disain arsitektur lainnya seperti posisi dan orientasi bangunan, bentuk atap, perletakan balkon, disain jendela, susunan ruangan dalam dan perletakan

furniture dan bahkan bentuk disain partisinya [Olgyay 73], [Gandemer 92], [Chand et al 98], [Iftikhar et al 01], [Heiselberg et al 01].

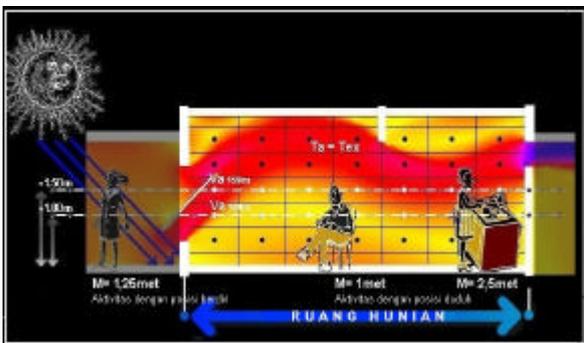
Bagaimana konsep perencanaan yang harus diterapkan terhadap suatu model perumahan susun berlantai 2 yang mewakili kondisi di perkotaan didaerah tropis lembab, apabila parameter sirkulasi udara dan kenyamanan thermal menjadi tolok ukurnya ?. Beberapa hasil study para peneliti diatas, dijadikan referensi dan ditindaklanjuti lebih detail dalam pengamatan ini.

Penelitian ini merupakan suatu bagian dari proses penelitian yang di lakukan di laboratorium CERMA- Ecole d'Architecture de Nantes – Perancis [WWW.CERMA 02]. Simulasi numerik dengan program N3S digunakan untuk

menvisualisasikan ‘model’ dan ‘mendapatkan data’ karakter gerakan udara di dalam suatu model bangunan, dan selanjutnya ditindaklanjuti dengan pengukuran tingkat kenyamanannya. Pengukuran tingkat kecepatan udara dilakukan pada titik-titik imajiner berjarak 1.00m tersebar di area ruang huni pada ketinggian 1.00m dan 1.50m yang mempresentasikan posisi penghuni, pada saat melakukan kegiatan duduk santai dan berdiri. (Gambar no.01, memberikan visualisasi dari paparan tersebut diatas).

Fanger mendefinisikan kenyamanan thermal sebagai kondisi seseorang yang mengekspresikan rasa puas/nyaman terhadap lingkungan thermalnya [Fanger 72]. Terkait dengan kondisi kecepatan udara interiornya, kecepatan udara di dalam ruangan untuk mencapai kenyamanan adalah sekitar 0.2-1.5m/s untuk aktivitas sedang [Gandemer 92]. Studi terbaru dari Griefahn dkk [Griefahn et al 00] menunjukkan bahwa seseorang yang sedang melakukan suatu aktivitas berat kurang sensitif terhadap aliran angin dibanding dengan orang yang melakukan aktivitas ringan .

Pada akhirnya, sangatlah beralasan untuk mengatakan bahwa semua variabel-variabel disain perumahan saling terkait dan mempunyai pengaruh satu sama lain. Sehingga dalam pengamatan ini dapat dikatakan bahwa karakter gerakan udara dalam ruangan (kecepatan udara) dalam usaha menciptakan kenyamanan didaerah tropis tidaklah harus pada kondisi kecepatan udara yang maksimal. Hal ini terpapar dari hasil analisa pengaruh disain balkon, bentuk jendela dan penataan element interior, yang dapat dijadikan contoh dari ‘kerjasama yang saling melengkapi’ antara sudut pandang arsitektur dan aspek pertimbangan thermiknya.



**Gambar 1. Ilustrasi Tampilan Visual dari Ide Pembahasan dan Lingkup Pengamatan**

## METHODE DAN BATASAN SIMULASI

### Model dari hasil studi simulasi numerik

Model dasar dalam penelitian ini diambil dari hasil studi terdahulu [Prianto et al. 01a], yaitu suatu type perumahan perkotaan daerah tropis yang berlantai dua.. Model berdimensi 2D terletak di bidang datar dan tanpa merepresentasikan kondisi alam sekitarnya (Lihat gambar no.2-a & 2-b). Dengan simulasi numerik, angin datang seolah-olah dari sebelah kiri terowongan numerik, dengan kecepatan udara sebagaimana kondisi nyata di lapangan. (data diambil dari data meteorologi kota-kota di negara tropis lembab : Semarang – Indonesia dan Cayenne – Guyana Perancis : 2,4m/detik pada ketinggian 10.00m) [Meteo 01], [WWW.BMG 01].

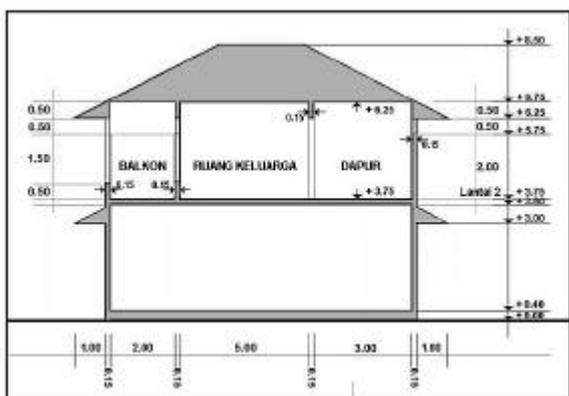
Program N3S ini merupakan salah satu program simulasi numerik yang dipergunakan di laboratorium CERMA, dan hingga kini telah banyak sudah kontribusinya dalam menganalisa perilaku gerakan udara di bidang arsitektur dan perkotaan.

Pada ke 18 model bangunan yang diujicoba, “ruang hunian” yang terletak di lantai dua merupakan sasaran dalam penelitian ini. Pengertian ruang hunian dibatasi hanya pada ruang tamu dan dapur. Dimensi model tersaji dengan jelas pada gambar no.02-a. Dalam kasus ini, lubang yang menghubungkan antar ruang bawah dan atas diasumsikan berada diluar objek atau tertutup. Model-model bangunan yang diuji coba dikelompokkan berdasarkan pengaruh element arsitekturnya (Sketsa model dapat dilihat pada disetiap pembahasan analisisnya).

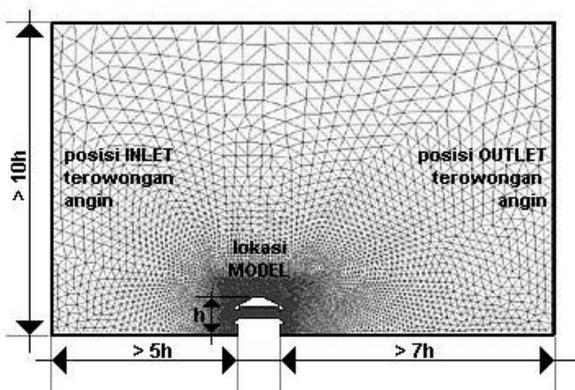
1. Pengaruh keberadaan balkon, diamati dengan membangun suatu model penampang perumahan tanpa balkon dengan porosite inlet 66% (model 01) dan model berbalkon berporosite 66% (model 02).
2. Pengaruh bentuk dan jenis jendela, diamati pada model 03, 04, 05 dan 06. Model 03 dan 04, suatu penampang perumahan dengan jendela putar bersudut + 30° dan + 45°. Sedangkan model 05 dan 06, suatu penampang perumahan dengan jendela putar bersudut - 30° dan - 45°
3. Pengaruh penataan element pembentuk interior, diamati pada model 07 s/d 18. Terdiri dari 2 (dua) model dasar, yaitu model 07 dan model 13 (suatu penampang perumahan dengan kombinasi antara jendela putar +45° dan -45°). Sedangkan ke 5 (lima) model

selanjutnya merupakan hasil modifikasi dari model dasar tersebut, yaitu:

- Pemodelan dengan penurunan plafond datar setinggi 0.50m (model 08, 14) dan plafond miring bersudut 45° (model 09, 15)
- Model 10, 16, dengan pemodifikasian partisi dengan kreyak horisontal, dan kreyak miring untuk model 11, 17.
- Model 12 dan 18 merupakan model dengan peninggian 0,40 m pada lantai dapur.



(a)



(b)

**Gambar 2. (a) Dimensi model dasar (dalam meter), (b) Skematik perletakan model bangunan dalam terowongan angin dengan komposisi maillagenya.**

**Indeks Kenyamanan Thermal untuk Daerah Tropis Lembab**

Pengukuran kenyamanan thermal seseorang dapat dikelompokkan berdasarkan 6 (enam) kriteria utama, yaitu terdiri dari 4 (empat) parameter lingkungan : suhu udara (Ta), suhu radian (Tr), kelembaban (Pa), kecepatan udara (V) dan 2 (dua) parameter perorangan : pakaian (Icl) dan aktivitas (M). Kenyamanan thermik

dapat didefinisikan sebagai rasa nyaman dari seseorang terhadap lingkungannya karena terciptanya keseimbangan antara pertukaran panas tubuh dan lingkungannya. [Fanger 72], [ASHRAE 92], [ISO 7730-94], [Brue&Kjaer 96].

Batasan dalam pengamatan kali ini adalah : tingkat aktivitas penghuni diasumsikan untuk suatu aktivitas ringan pada posisi duduk dan berdiri (1 dan 1.25 met). Pakaian, suhu dan kelembabannya diambil nilai besaran umum yang lazim untuk daerah tropis lembab [De Wall 93] : 0.5 clo untuk pakaian (kira-kira berupa berpakaian lengan pendek, celana panjang dan alas kaki), suhu udara dan suhu radian sebesar 28°C (“kondisi isothermis”, Ta = Tr, hal ini logis terjadi pada bangunan berventilasi silang, dimana temperatur udara di dalam ruangan akan mendekati temperatur udara eksterior) [Brager et al 01].

Indeks PMV (Predicted Mean Vote/Vote Moyen Prévisible) adalah formula dasar kenyamanan dari pengamatan Fanger, yang ditujukan untuk pengevaluasian kenyamanan thermik seseorang dalam suatu ruangan di daerah dingin dan sedang. Pengukurannya menggunakan tujuh skala, yaitu : Panas tidak nyaman (+3), hangat tidak menyenangkan (+2), agak hangat (+1), netral nyaman (0), agak sejuk (-1), sejuk tidak menyenangkan (-2), dan dingin tidak nyaman (-3) dan kini telah distandarkan dengan ISO 7730 [Fanger 72], [ISO 7730-94].

Sedangkan untuk mengukur tingkat kenyamanan di lingkungan panas dan lembab, oleh beberapa peneliti [Gagge 86], [Kwok 98], [Brager et al 01] digunakan indeks PMV\*, yang diperoleh dengan cara menggantikan Temperature Operative pada persamaan PMV Fanger dengan SET\*. Pada prinsipnya definisi SET\* ini adalah memperhatikan kaitan antara nilai pakaian, aktivitas penghuni dan gerakan udara dari suatu lingkungan isothermis pada suatu kelembaban yang tinggi (HR > 50%) [Gagge 86]. Lebih lanjut perbandingan posisi diantara skala PMV dan PMV\*, sebagai referensi, dapat memberikan gambaran dari sebuah studi lapangan di daerah beriklim panas dalam suatu bangunan yang tidak menggunakan sistem air conditioning. Dimana terlihat bahwa PMV standar terlalu overestimate terhadap sensasi thermal seseorang [Fanger 01], disisi lain, dari sudut pandang kesehatan, bagi orang yang terbiasa hidup di daerah panas, suasana dingin akan lebih baik dari pada suasana panas, artinya situasi ‘terlalu panas’ berpengaruh langsung ke

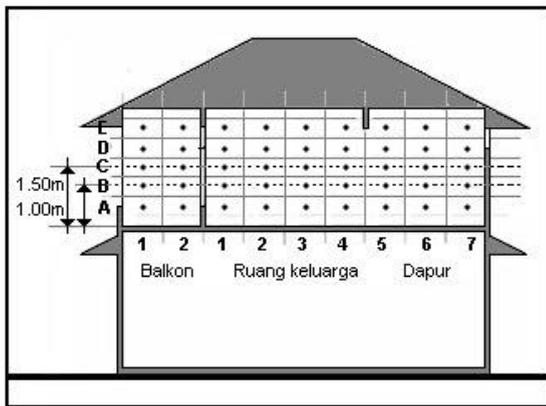
otak, sedangkan situasi ‘terlalu dingin’ pengaruhnya hanya terasa pada kulit [Meyer 93]. Deskripsi yang lengkap 7 skala pengukuran dari indeks PMV\*-baru secara numerik adalah sebagai berikut, dimana nilai kenyamanan berkisar antara -0,5 dan +0,5 [De Dear 02] [Humphreys et al 01] :

| PMV  | Sensasi thermal           | Effek physiology                  |
|------|---------------------------|-----------------------------------|
| -2,5 | Dingin tidak nyaman       | Tidak nyaman karena terasa dingin |
| -1,5 | Sejuk tidak menyenangkan  |                                   |
| -0,5 | Agak sejuk                | Nilai kondisi nyaman              |
| 0    | Nyaman, agréable, netral  |                                   |
| +0,5 | Agak hangat               |                                   |
| +1,5 | Hangat tidak menyenangkan | Tidak nyaman karena terasa panas  |
| +2,5 | Panas tidak nyaman        |                                   |

**Gambar 3. Tabel yang Menyajikan 7 Skala Pengukuran PMV\* dan Deskripsi Sensasinya**

**ANALISA DAN HASIL**

**Pertama**, analisa karakter gerakan angin ini meliputi : tampilan pola gerakan udara didalam ruangan yang dapat dilihat dari hasil simulasi numerik dan pengukuran kecepatan udara (V<sub>i</sub>) di ketinggian 1,00m dan 1,50m (V<sub>100</sub> dan V<sub>150</sub>). Kecepatan udara rata-rata dalam ruangan tersebut diperoleh dari pengukuran pada point-point imajiner yang merupakan node dari bidang berjarak 1,00m sepanjang penampang bangunan.



$$\bar{V}_{100m} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 V_i \qquad \bar{V}_{150m} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 V_i$$

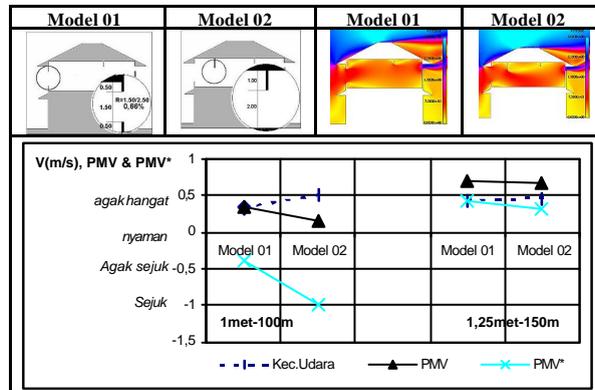
**Gambar 4. Kiri) Pola distribusi point-point ukur kecepatan udara dalam ruang hunian, Kanan) persamaan untuk menghitung kecepatan rata-rata pada ketinggian 1,00m dan 1,50m**

**Kedua**, penganalisaan posisi PMV dan PMV\* untuk dua kegiatan yang berbeda. Nilai PMV/PMV\*<sub>1met</sub>, berupa kondisi kenyamanan untuk kegiatan dengan posisi duduk dengan kecepatan udara yang diukur pada ketinggian 1,00m. Sedangkan nilai PMV/PMV\*<sub>1,25met</sub> berupa kondisi kenyamanan dari kegiatan seseorang dengan posisi berdiri, yang diukur/ditentukan/tergantung pada kecepatan udara interior di ketinggian 1,50m.

**Pengaruh Keberadaan Balkon**

Mengacu pada studi I. Chand PK, balkon mempunyai peran peningkatan kecepatan udara dalam ruangan, bilamana posisinya terletak tegak lurus dengan arah datang angin [Chand et al 98]. Bagaimana pengaruhnya terhadap posisi kenyamanan thermal bagi penghuni?. Untuk itu dilakukan perbandingan model uji tanpa balkon (model 1) dan model uji berbalkon (model 02).

Gambar 5, menunjukkan adanya perubahan nilai kenyamanan (PMV\* dan PMV) di saat terjadi peningkatan kecepatan udara di model berbalkon (kecepatan meningkat 55% di ketinggian 1,00m dan 9% di ketinggian 1,50m). Dapat dilihat bahwa untuk kedua model ini, posisi rata-rata nilai PMV berada lebih tinggi dari nilai PMV\*, dengan perbedaan rata-rata 0,74 point.



**Gambar 5. Kiri-atas) Sketsa model 01 dan 02, Kanan-atas) Visualisasi perilaku gerakan udara dari hasil simulasi N3S, Bawah) Grafik evolusi V, PMV dan PMV\***

Perubahan nilai PMV\*<sub>model01 ke 02 1met</sub> = -0,4 bergeser menjadi -0,98 (suasana tidak nyaman / dingin) atau terjadi penurunan nilai PMV\* untuk kegiatan 1 met ini sebesar 0,48 point. Dan perubahan nilai PMV\*<sub>model01 ke 02 1,25met</sub> = 0,41 bergeser menjadi 0,31 (suasana tetap nyaman)

atau terjadi kenaikan nilai PMV\* untuk kegiatan 1,25 met sebesar 0,3 point.

Pada akhirnya dapat disimpulkan bahwa bangunan berbalkon hanya mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perbaikan posisi kenyamanan untuk kegiatan 1,25 met; karena nilai PMV\* mendekati netral (PMV\*=0). Bagaimana hal ini menurut sudut pandang para arsitek?. Mengingat kembali konsep perencanaan bangunan tropis [Prianto et al 01a], dan pertimbangan aspek termik [Meyer 93], penggunaan balkon pada perumahan susun merupakan pilihan tepat.

**Pengaruh Jenis Putaran Jendela**

Mengacu pada suatu hasil studi [Heinselberg et al 01], disimpulkan bentuk jendela berpengaruh terhadap pembentukan perilaku gerakan udara dan kenyamanan penghuninya. Hal ini tervisualisasi pada hasil pensimulasian N3S [Prianto et al 01b] [Prianto et al 02], dimana pola gerakan udara yang terjadi cenderung mengarah ke plafond ruang tamu untuk model jendela putar positif, dan berada disekitar permukaan lantai bangunan hunian untuk model jendela putar negatif (putaran “+” berarti searah jarum jam). Untuk mengetahui pengaruh terhadap terciptanya suasana nyaman, maka dilakukan perbandingan 2 model putaran tersebut.

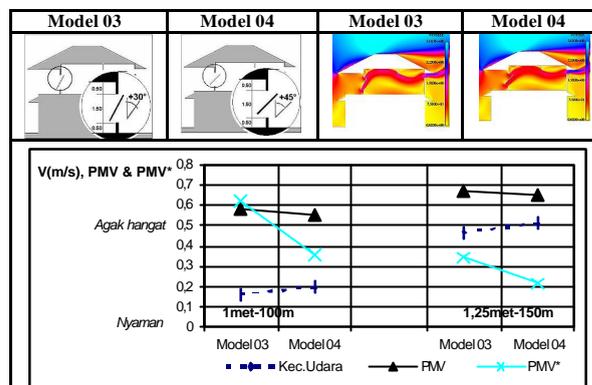
Jendela Putar Positif

Gambar 6, menunjukkan bahwa penggunaan model 04 menciptakan perbaikan tingkat kenyamanan di kedua kegiatan ini dan dimana hal ini sangat terasa untuk kegiatan 1met (PMV\* model03, 04 1met = 0,62 dan 0,35). Sedangkan untuk kegiatan 1,25met, perubahan bentuk sudut putar tidaklah merubah tingkat kenyamanan yang ada (PMV\* model 03, 04 1,25met =1,22 dan 0,61). Dari segi tingkat kecepatan udara, penggunaan jendela putar +45° dibanding sudut +30°, meningkatkan kecepatan udara sebesar 19% diketinggian 100m dan 9% di ketinggian 1,50m.

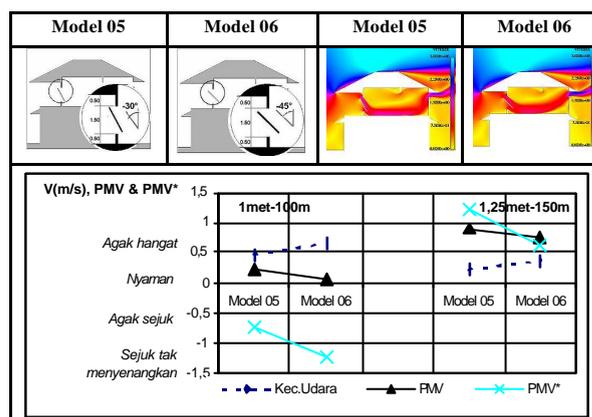
Jendela Putar Negatif

Seperti pada pengujian sebelumnya, perbandingan model 05 dan 06 menunjukkan adanya peningkatan kecepatan udaranya di jendela -45° (39% di ketinggian 1,00m dan 80% di ketinggian 1,50m), namun peningkatan ini tidak ‘cukup’ membawa perbaikan tingkat kenyamanan untuk kedua kegiatan ini. Lebih detailnya, penggunaan model sudut -45° di ketinggian 1,50m, posisi

PMV\* 1,25met masih berada diantara +0,5 s/d + 1,5 (kondisi hangat) dan di ketinggian 1,00m, sensasi thermal PMV\* 1met justru semakin dingin (lihat gambar 7).



**Gambar 6.** Kiri-atas) Sketsa model 03 dan 04, Kanan-atas) Visualisasi perilaku gerakan udara dari hasil simulasi N3S, Bawah) Grafik evolusi V, PMV dan PMV\* dari model berjendela putar +30° dan +45°.



**Gambar 7.** Kiri-atas) Sketsa model 05 dan 06, Kanan-atas) Visualisasi perilaku gerakan udara dari hasil simulasi N3S, Bawah) Grafik evolusi V, PMV dan PMV\* dari model berjendela putar -30° dan -45°.

Dengan mengamati kedua arah putaran jendela ini, akhirnya dapat disimpulkan bahwa ‘nilai perbaikan’ situasi kenyamanan banyak tercipta pada model dengan **putaran jendela positif**, sehingga untuk perumahan di daerah tropis sangat tepat bilamana menggunakan pilihan model ini. Dengan mengamati fenomena yang terjadi pada jendela putar negatif ini, solusi untuk mendapatkan kenyamanan pun dapat diperoleh di ketinggian 1,50m/kegiatan 1,25met bilamana menggunakan model jendela

negatif dengan sudut > -45°. Hanya saja, menimbulkan efek ketidaknyamanan di kegiatan 1met, karena situasi semakin dingin ( $PMV^* < -0,5$ ).

**Pengaruh Penataan Elemen Interior**

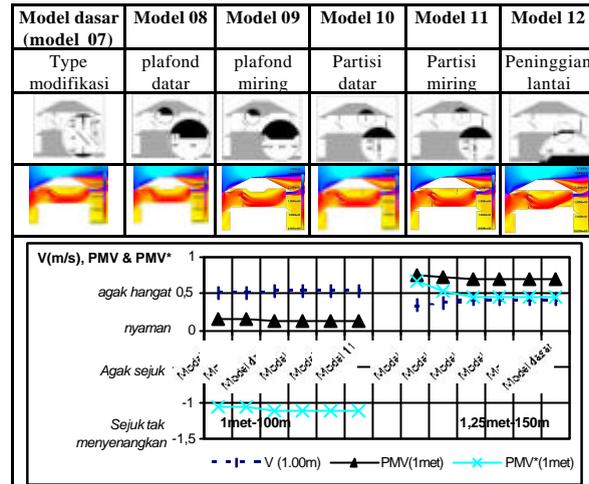
Dasar pertimbangan dipilihnya dua model uji ini (model 07 dan 13) adalah cukup simple: yaitu menindaklanjuti ‘keuntungan’ dan ‘keterbatasan’ penggunaan model berjendela putar negatif dan positif (lihat analisa diatas) bilamana dilakukan pemodifikasian pada masing-masing elemen interiornya. Artinya, adakah efek samping dari pemodifikasian elemen interiornya terhadap penggunaan putar “+” dan begitu pula pertanyaan yang senada dilontarkan pada jendela putar “-“. Tingkat pengaruh dari pemodifikasian elemen interior tersebut, tentunya dapat diketahui dengan membandingkan hasil nilai masing-masing  $PMV^*$  model dasarnya dengan  $PMV^*$  model modifikasinya.

Pemodifikasian Elemen Interior Pada Jendela Putar - 45°

Posisi  $PMV^*$  dari model dasar (Model 07,  $V_{1,00m, 1,50m} = 0,54$  dan  $0,42$  m/s), di mana hanya didapatkan kenyamanan untuk kegiatan 1,25 met. Dengan mengamati grafik pada gambar 08, terlihat bahwa kecepatan udara dan posisi nilai  $PMV/PMV^*_{1,00m}$  relative konstans dibanding grafik pada model-model di ketinggian 1,50m. Pada pengukuran di 1,00m, model 23 dan 27 mengalami penurunan kecepatan udara dibanding model dasarnya sebesar 4%, namun hal ini tidak mempengaruhi perubahan tingkat ketidaknyamanannya, atau nilai  $PMV^*$  masih berada di bawah -0,5 (situasi agak sejuk). Sedangkan nilai  $PMV^*$  dari model termodifikasi lainnya tidak terdapat perubahan apapun.

Untuk pengukuran di ketinggian 1,50m, penurunan kecepatan udara terjadi pada seluruh model termodifikasi : sebesar 2% untuk model 24, 25 dan 26, dan mencapai 19% pada model 23 dan 27. Penurunan kecepatan yang terjadi ini merubah posisi  $PMV^*$  dari situasi nyaman ke tidaknyaman ( $PMV^*_{model\ dasar\ ke\ 23\ dan\ 27\ 1,25met} = 0,44$  ke  $0,55$  dan  $0,67$ ).

Akhirnya dapat disimpulkan bahwa pemodifikasian elemen interior pada jenis jendela ini tidaklah membawa ‘manfaat’, justru menciptakan ketidaknyaman bagi penghuninya pada kegiatan 1,25met. Tentunya hal ini diharapkan akan menjadikan perhatian bagi para arsitek didaerah tropis dalam langkah perencanaan.



**Gambar 8.** Atas) Sketsa model 07 s/d 12, Tengah) Visualisasi perilaku gerakan udara dari hasil simulasi N3S, Bawah) Grafik evolusi V, PMV dan  $PMV^*$  dari model berjendela putar -45 dengan model modifikasinya.

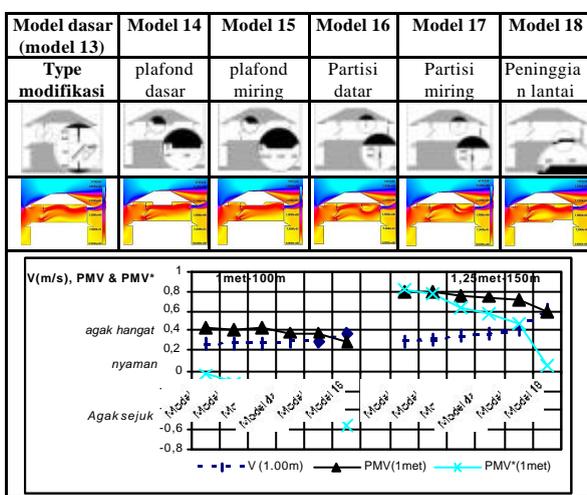
Pemodifikasian Elemen Interior Pada Jendela Putar + 45°

Gambar 9 menunjukkan evolusi posisi  $PMV$  dan  $PMV^*$  dari suatu model dasar berjendela putar + 45° dan model-model modifikasinya. Pada prinsipnya, untuk model dasar ini (model 13,  $V_{1,00m, 1,50m} = 0,30$  dan  $0,37$  m/s), situasi nyaman hanya ditemukan pada kegiatan 1met ( $PMV^*_{model\ dasar\ 1\ met} = -0,26$ ). Penurunan kecepatan udara terjadi pada model 14, 15 dan model 17 di ketinggian 1,00m (sebesar 7%-13%) dan di ketinggian 1,50m (sebesar 5%-19%), namun hal itu tidak menciptakan efek perubahan situasi nyaman/tidak nyaman sebelumnya. Nilai  $PMV^*$  untuk kegiatan 1met berada pada suasana nyaman ‘absolut’/kenyamanan yang mendekati nilai 0 ( $PMV^*_{model\ dasar,\ 14,\ 15\ dan\ 17\ 1met} = -0,26; -0,18; -0,12$  dan  $-0,04$ ). Sedangkan penggunaan model 16 dan 18, di kedua ketinggian ini, mengalami kenaikan kecepatan udara sebesar 11% s/d 68%. Hal inilah yang membawa perubahan kenyamanan di kegiatan 1met, yaitu suasana menjadi lebih sejuk ( $PMV^*_{model\ dasar,\ 16\ 1met} = -0,26$  ke  $-0,56$ ). Dan akhirnya untuk kegiatan 1,25met, ditemukan perbaikan kenyamanan ( $PMV^*_{model\ dasar\ ke\ 16\ dan\ 18\ 1,25met} = 0,58$  ke  $0,47$  dan  $0,04$ ).

Dapat disimpulkan bahwa perbaikan kenyamanan pada model ini untuk kedua kegiatan berbeda, akan ditemukan bilamana arsitek melakukan pemodifikasian model dasarnya

dengan cara membuat partisi berkrepayak datar dan menaikkan lantai dapurnya (  $PMV^*_{model\ 18\ 1met,\ 1,25met} = -0,26\ dan\ 0,04$ ).

Sebagaimana hasil analisa sebelumnya, ternyata untuk pengujian aspek interiornya dari kedua jendela putaran ini, perbaikan kenyamanan nilai  $PMV^*$  dan kecepatan udaranya hanya akan didapatkan pada model jendela putar positif, dan dengan perubahan elemen interior, perbaikan kenyamanan akan dirasakan untuk kegiatan 1,25met. Pemodelasian elemen interior pada jendela putaran negatif tetaplah tidak membawa perbaikan kenyamanan. Secara umum, lebih detailnya, perbaikan tingkat kenyamanan untuk 1met dan 1,25met dapat dilakukan dengan menurunkan tingkat kecepatan di ketinggian 1,00m dan menaikkan kecepatan di ketinggian 1,50m.



**Gambar 9.** Atas) Sketsa model 13 s/d 18, Tengah) Visualisasi perilaku gerakan udara dari hasil simulasi N3S, Bawah) Grafik evolusi V, PMV dan  $PMV^*$  dari model ber-jendela putar +45 dengan model modifikasinya.

### KESIMPULAN

- Pengamatan yang dilakukan dengan uji coba simulasi numerik, seperti N3S ini, sangat efisien dan efektif dalam mengungkap fenomena perilaku gerakan udara dalam suatu bangunan arsitektur maupun lingkungan perkotaan.
- Hasil uji coba ini, membuktikan kembali bahwa keberadaan balkon, dan penataan ruang dalam mempengaruhi karakter gerakan udara dalam ruangan dan tingkat kenyamanan. Di mana semua ini memberikan suatu contoh sederhana dari 'kerjasama yang saling

melengkapi' antara sudut pandang arsitektur dan thermiknya.

- Indeks  $PMV^*$ -baru tepat digunakan untuk daerah tropis lembab, dengan batasan nilai kenyamanan antara -0.5 dan +0.5. Lebih detail dapat dikatakan bahwa, posisi skala ukur  $PMV$ -Fanger ternyata lebih tinggi atau sensasi thermalnya terlalu overestimate dibanding skala ukur  $PMV^*$ .
- Point dibawah ini dapat dimanfaatkan sebagai pertimbangan bagi para arsitek di daerah tropis lembab dalam mendapatkan kenyamanan yang diharapkan :
  - ✓ Penggunaan balkon, selain dapat meningkatkan kecepatan udara dalam ruangan, juga dapat pula memperbaiki tingkat kenyamanan khususnya untuk penghuni beraktivitas 1,25met. Mengacu pada pendapat Meyer, penggunaan balkon ini juga 'bisa diterima' untuk kegiatan seseorang sebesar 1met, di mana efek yang terjadi adalah situasi agak sejuk ( $-0,5 > PMV^* > -1,5$ ).
  - ✓ Penggunaan model berjendela putar "+ dan -" dengan sudut  $45^\circ$  lebih 'bermanfaat' dari pada sudut  $30^\circ$ , pada aspek peningkatan kecepatan udara dan perbaikan kenyamanan. Pada daerah tropis lembab, penggunaan model berjendela putar  $+45^\circ$  lebih sarankan dibanding  $-45^\circ$ . Namun masih memungkinkan pula bilamana penghuni menghendaki pemakaian jendela putar negatif. Untuk hal ini disarankan menggunakan jendela putaran dengan sudut  $> 45^\circ$ .
  - ✓ Pemodelasian elemen interior pada model jendela  $-45^\circ$ , justru berakibat penurunan kecepatan udara interior dan menimbulkan ketidaknyamanan (terutama akibat peninggian lantai dapur). Sebaliknya, untuk pemodifikasian elemen interior pada model jendela putar  $+45^\circ$ , perbaikan kenyamanan khususnya untuk kegiatan 1,25met tercipta dengan cara memodifikasi bagian partisi dan peninggian lantai dapur.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih pada pimpinan laboratorium CERMA M.Gerad HEROND dan M. Patrick DEPECKER selaku pembimbing penelitian selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE 55, "Thermal environmental conditions for human occupancy", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1992.
- Brager, G S, De Dear, R, "Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55", in : Moving Thermal Comfort Standarts into the 21<sup>st</sup> Century, Windsor, UK, Loughborough University, 2001, pp. 60-77.
- Bruel&Kjaer INNOVA, "Thermal Comfort", Denmark, 1996, 32 pp. <http://www.innova.dk>
- Chand, P K., Bhargava, N.L.V., Krishak, "Effect of Balconies on Ventilation Inducing Aeromotive Force on Low-rise Buildings", Building and Environment, 33, 6, 1998, p. 385-396.
- De Dear, R.J., "The JavaScript's programming for The PMV and 2-node", [On-line]. 2002. Available from internet: <http://atmos.es.mq.edu.au/rdedear/test/runn.htm>
- De Wall, H;B. "New Recommendations for Building in Tropical Climate", Building and Environment, Vol.28, No.3, 1993, pp. 271-285.
- Fanger,PO and Toftum,J, "Thermal comfort in the future – Excellence and expectation", in : Moving Thermal Comfort Standarts into the 21<sup>st</sup> Century, Windsor, UK, Loughborough University, 2001, pp. 11-18.
- Fanger,P.O., "Thermal Comfort", New York: McGraw-Hill, 1972, 244 pp.
- Gagge,A.P, Fobelet,A.P., and Berglund,L.G, "A Standard Predictive Index of Human Response to The Thermal Environment" ASHRAE Trans., Vol.92, Peat 2B, 1986, pp. 709-730.
- Gandemer,J., "Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide – Tome 1: Méthodologie de prise en compte des paramètres climatiques dans l'habitat et conseils pratiques", CSTB, Nantes, 1992, pp. 64-68.
- Griefahn,B, Künemund,C, Gehring,U, Mehnert, P, "Drafts is cold environments – The significance of air temperature and direction", Industrial Healt, Vol.38, 2000, pp.30-40.
- Heiselberg, P., Svidt, K. and Nielsen, P V., "Characteristics of air flow from open windows", Building and Environment, Vol.36, 2001, pp. 859-869.
- Humphreys, MA and Nicol,JF, "The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments", in : Moving Thermal Comfort Standarts into the 21<sup>st</sup> Century, Windsor, UK, Loughborough University, 2001, pp. 406-430.
- Iftikhar,A., Raja,J., Nicol Fergus,J. McCartney Kathryn, Humphreys Michel,A., "Thermal comfort : use of control in naturally ventilated buildings", Energy and Buildings, 33, 2001, pp.235-244.
- ISO 7730, "Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort", International Organization for Standardization, Geneva.
- Kwok,A.G., "Thermal Comfort in Tropical Schools", ASHRAE Transactions, 1998, 104 (1)
- Mayer,E, "Objective Criteria for Thermal Comfort", Building and environment, Vol.28, No.4, 1993, pp. 399-403.
- METEO France, "Fiche climatologique d'une station du département de la Guyanne Française période 1961-1990" Météo France, Paris, (2001).
- Olgyay,V., "Design with climate – Bio-climatic approach to architecture regionalism", Princeton University Press, USA, 1973, p. 94-112.
- Prianto,E, Houpert,S, Depecker,P, Peneau,JP, "Contribution of numerical simulation with SOLENE to find out the traditional Architecture Type of Cayenne –Guyana

France”, International Journal on Architecture Science, Vol.1, No.4, Hongkong, 2001, pp.156-180.

Prianto, E., Jachet, I., Depecker, P. And Peneau, J-P., “Contributions of N3S Numerical Simulation (1) in Investigating the Influence of Balcony on Traditional Building to Obtain Maximum Indoor Velocity (Case study of urban living quarter with low wind speed in Cayenne Guyana-France and Semarang Indonesia)”, International Journal on Architecture Sciences, Vol.2, No.3, Hong Kong, 2001, pp. 93-100.

Prianto,E. and Depecker,P., “Characteristic of Air Flow as The Effect of Balcony, Opening Design and Internal Division on Indoor Velocity”, Energy and Building, Vol.34. No.4. 2002, pp.401-409.

BMG, “Informasi Klimatologi Semarang-Indonesia”, [On-line]. 2001. Available from internet : <http://www.bmg.go.id>

CERMA Laboratory UMR CNRS-1563. “Welcome to the ‘Centre de Recherche Méthodologique d'Architecture’, CERMA”. France, Nantes : <http://www.cerma.archi.fr/content/acontent/accueil2.htm>, 2001.