

Analisis Pemakaian *Displacement AC* Dalam Bangunan

Marianus Bahantwelu¹⁾

¹⁾ Prodi Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana.

Abstrak

Penggunaan AC dalam bangunan sudah menjadi suatu keharusan ditengah lingkungan luar yang tidak lagi nyaman secara termal. AC *mixing* dengan prinsip *turbulent jets*, mencampur dan menyejukan semua isi ruangan. Sementara sistem *displacement* yang bekerja dengan efek *buoyancy* membuat udara dalam ruangan akan terstratifikasi dalam dua bagian secara vertikal. Udara sejuk dingin akan berada di bawah sementara udara panas beserta polutan dalam ruangan akan naik di atas zona hunian, yang kemudian akan dikeluarkan lewat outlet. Hal ini menjadikan sistem *displacement ventilation* (AC) memiliki kualitas udara ruangan yang lebih baik, efektifitas ventilasi yang tinggi serta lebih hemat energi. Metode yang digunakan adalah *literature review*. Hasil yang didapatkan diantaranya adalah sistem *displacement AC* sangat cocok jika diterapkan pada kondisi dengan kadar polutan ruang yang tinggi, tinggi plafon di atas 3 m, ruang dengan tingkat aliran udara per unit luas lantai yang tinggi (seperti dalam lobi, bioskop, ruang konferensi). Tipe difuser *displacement AC* diantaranya *free standing diffuser*, *wall mounted*, *floor mounted* dan *corner diffuser*. Untuk ruang yang besar, jarak masing-masing difuser maksimal 30 m. Penempatan masing-masing difuser bisa diekspos (sebagai elemen arsitektural) maupun 'disembunyikan di dalam' furnitur. *Draft effect* bisa diselesaikan dengan: 1) Penempatan *diffuser supply* yang tepat dengan memperhatikan area *adjacent zone*; 2) Arah *supply* udara bisa dikondisikan ke area dengan mobilitas yang tinggi; 3) Suhu ruangan bisa dinaikan ke batas 26°C dengan kecepatan 0,2 m/s. Untuk mengatasi *gradient temperature vertical*, bisa dilakukan dengan cara nomor 3 pada *draft effect*.

Kata-kunci : *displacement AC*, difuser, *draft effect*, polutan

Abstract

Air conditioning in buildings has become a must during an outside environment that is no longer thermally comfortable. AC mixing with the principle of turbulent jets mixes and cools all the contents of the room. At the same time, the displacement system that works with the buoyancy effect makes the air in the room stratified in two vertically. Cool air will be below while hot air and indoor pollutants rise above the residential zone and are issue through the outlet. Therefore, the displacement ventilation (AC) system has better room air quality, high ventilation effectiveness, and more energy-efficient. The method used is a literature review. The results obtained include an AC displacement system, which is very suitable if applied to the room with high pollutants, ceiling height is above 3m, and the rooms with high airflow rates per unit floor area (such as in lobbies, cinemas, conference rooms). Types of AC displacement diffusers include a free-standing diffuser, wall-mounted, floor-mounted, and corner diffuser. For large spaces, the maximum distance of each diffuser is 30 m. The placement of each diffuser can be exposed (as an architectural element) or 'hidden in' furniture. The draft effect can be completed by: 1) Placement of the proper diffuser supply by paying attention to the adjacent zone area; 2) The direction of air supply can be conditioned to areas with high mobility; 3) The room temperature can be raised to the limit of 26°C at a speed of 0.2 m/s. Carrying the gradient of temperature vertical can be done by number 3 on the draft effect.

Keywords : *AC displacement*, difuser, *draft effect*, polutan

Kontak Penulis

Marianus Bahantwelu
Prodi Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknik,
Universitas Nusa Cendana
Jalan Adisucpto, Kota Kupang, NTT 85001
E-mail : marianusbahantwelu@staf.undana.ac.id

Pendahuluan

Kenyamanan merupakan kunci keberhasilan dan produktivitas kerja. Salah satu kebutuhan pokok manusia dalam hidupnya yaitu kebutuhan akan rasa nyaman. Kebutuhan ini selain disebabkan oleh lingkungan sosial juga oleh lingkungan binaan. Pada desain suatu bangunan, hal pertama yang harus diperhatikan yaitu kenyamanan pengguna. Hal ini karena menurut Jenkins dkk (1992) dalam Burt (2007), (Klepeis, dkk, 2001) rata-rata manusia menghabiskan $\pm 87\%$ kegiatannya di dalam ruangan.

Aktifitas penghuni dengan segala kebutuhannya akan menghasilkan panas dan polutan yang akan terakumulasi dalam ruangan. Panas dalam ruangan terbentuk oleh aktifitas penghuni, peralatan (komputer, pencahayaan, dll) dan juga karena radiasi matahari. Sedangkan polutan terbentuk oleh material bangunan atau furnitur, aktifitas manusia dan juga partikel yang masuk dari luar. Semakin tinggi suhu dan intensitas polutan yang terakumulasi dalam ruangan, maka kenyamanan termal dan kualitas udara ruangan menjadi tidak nyaman dan sehat.

Kualitas udara ruang yang baik dapat berpengaruh terhadap kesehatan, kenyamanan dan produktifitas (Sujanova, dkk, 2019) Salah satu cara untuk meningkatkan kenyamanan termal dan meningkatkan kualitas udara ruang adalah dengan menggunakan sistem penghawaan buatan.

Pemakaian penghawaan buatan atau AC pada dirinya sendiri bukan merupakan hal yang salah. Menurut (Satwiko, 2005), jika lingkungan luar suatu bangunan sudah tidak nyaman secara termal (tidak tersedia udara luar yang sehat, suhu udara luar melebihi 28°C , banyak bangunan sekitar yang menghalangi aliran udara horisontal, dan kebisingan sekitar yang tinggi), maka para perancang tidak usah takut untuk memakai AC. Hanya saja yang patut menjadi perhatian yaitu harus selalu dipikirkan tentang strategi dan cara-cara yang dapat membuat pemasangan AC itu lebih efisien dan efektif baik dalam hal biaya, perawatan maupun fungsinya.

Secara umum fungsi dari sistem pengkondisian udara ruangan diantaranya seperti tersebut di bawah ini (Wang, 2000):

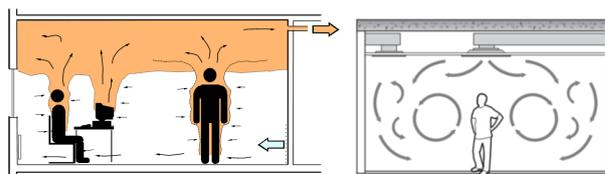
- (1) Menyediakan energi untuk penyejukan atau penghangatan ruangan
- (2) Mengkondisikan suplai udara, misalnya untuk panas atau sejuk, lembab atau kering, membersihkan atau memurnikan udara, atau mengurangi kebisingan
- (3) Mendistribusikan udara yang telah dikondisikan (dari luar ruangan) kedalam ruangan
- (4) Mengontrol dan menjaga kondisi iklim ruangan agar tetap seperti yang diinginkan (suhu, kelembapan,

kebersihan, kecepatan udara, kebisingan, dan perbedaan tekanan ruang yang dikondisikan)

Ada dua jenis sistem AC yaitu sistem *mixing* dan sistem *displacement*. *Mixing AC* adalah sistem AC yang meletakkan pasokan udaranya pada bagian atas ruang dan bekerja berdasarkan prinsip *turbulent jets*, sedangkan *Displacement AC* atau *displacement ventilation (DV)* adalah sistem AC yang meletakkan difusernya pada area bawah (dinding dekat lantai atau di atas lantai yang ditinggikan). Prinsip kerja *displacement AC* berdasarkan efek dari *buoyancy* atau *stack effect*, di mana udara dingin akan berada di bawah sedangkan udara panas beserta polutan yang ada dalam ruangan akan naik dan dikeluarkan lewat lubang *outlet* (Ren, dkk, 2015).

Sistem *displacement ventilation* sebagai sistem pengkondisian udara sudah diterapkan di Skandinavia sejak tahun 1978 (Hamilton, dkk, 2004) dan sejak 1980 sudah populer digunakan di fasilitas komersial. Jika dibandingkan dengan sistem *mixing* dan *radiant*, maka *displacement AC* memiliki waktu penyejukan tercepat dan juga mengkonsumsi energi yang paling sedikit (Seputra, 2018).

Pada sistem *Displacement Ventilation (DV)* atau *displacement AC*, udara sejuk dipasok dengan kecepatan rendah ($0,15\text{--}0,38\text{ m/s}$ lewat *inlet (diffuser)* yang terletak di lantai atau area dekat lantai. Bekerja berdasarkan prinsip *buoyancy "displacement"*, di mana udara sejuk menyebar dengan perlahan ke atas lantai dan mengangkat udara panas beserta polutan ke atas plafon kemudian akan dikeluarkan lewat *outlet*. Sistem ini cukup umum digunakan di Skandinavia sejak 1978 (Hamilton dkk, 2004), (Melikov, 2017).



Gambar 1. (Kiri) Konsep *displacement ventilation* dan (Kanan) Konsep *mixing AC* (Sumber: Melikov, 2017)

Gambar 1 menunjukkan prinsip kerja dari sistem AC *displacement* dan *mixing*. Pada sistem *mixing* udara dipasok dari bagian atas (plafon atau dinding atas) dan turun ke bawah dan melalui proses pencampuran sampai mencapai suhu yang diinginkan. Sedangkan pada sistem *displacement*, udara sejuk dipasok dari bawah dengan kecepatan dan suhu yang rendah. Udara sejuk yang keluar akan bertemu dengan semua sumber panas dan polutan dalam ruangan, misalnya peralatan elektronik, manusia, maupun lampu. Karena perbedaan kerapatan, maka udara panas yang lebih ringan (berserta polutan ruangan) akan naik keatas (prinsip *buoyancy*) berdasarkan prinsip *stack effect*. Karena hal ini, maka ruangan akan dibedakan

menjadi dua zona secara vertikal, yaitu zona hunian yang berisi udara sejuk dan bersih dan zona kontaminan yang berada di atas zona hunian dan di bawah plafon (Schild, 2004).

Melihat hal tersebut di atas, maka perlu untuk diadakan penelitian tentang apa dan bagaimana aplikasi sistem *displacement AC* untuk ruangan, jenis-jenis difuser dan peletakannya dalam ruangan beserta kondisi-kondisi yang menyertainya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengetahuan dan pemahaman tentang aplikasi sistem *displacement AC* dalam ruangan

Metode

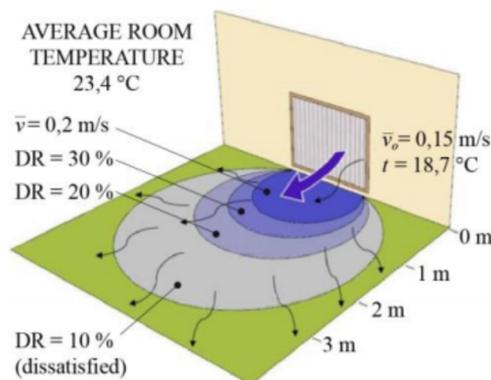
Metode yang digunakan pada kajian ini adalah studi pustaka. Tujuan dari kajian ini membahas tentang sistem dan aplikasi, peletakan dan prinsip kerja dari AC *displacement* untuk penciptaan kualitas udara ruang yang aman dan sehat. Review pustaka akan diambil dari penelitian-penelitian terdahulu tentang AC *displacement*, baik lewat studi simulasi, ekperimental maupun laboratorium. Studi pustaka diperoleh dari berbagai sumber yang diterbitkan seperti artikel jurnal, makalah, dan materi terkait lainnya. Pembahasan kajian ini dimulai dengan efek dari pemakaian *displacement AC*, prinsip aplikasi, jenis-jenis *diffuser supply* udara, selanjutnya dikaji bagaimana meletakkan difuser tersebut di dalam ruangan. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat disusun suatu pemahaman teoritikal terkait prinsip dan sistem aplikasi serta pola pemasangan difuser dalam ruangan yang dapat memberikan kenyamanan bagi pengguna.

Hasil dan Pembahasan

Draft effect adalah penyejukan konvektif lokal yang tidak diinginkan pada bagian tubuh sebagai akibat dari pergerakan udara. Efek *draft* akan lebih terasa pada zona *adjacent*, yaitu zona dimana rata-rata kecepatan udara dan intensitas turbulensi yang tinggi dengan suhu yang rendah. Panjang zona *adjacent* didefinisikan sebagai jarak dari difuser ke titik dimana maksimum kecepatan udara menurun ke 0,2 m/s ketika perbedaan temperatur udara antara suhu ruangan (pada ketinggian 1,1 m) dan difuser pasokan sebesar 3°C (Melikov, 2017).

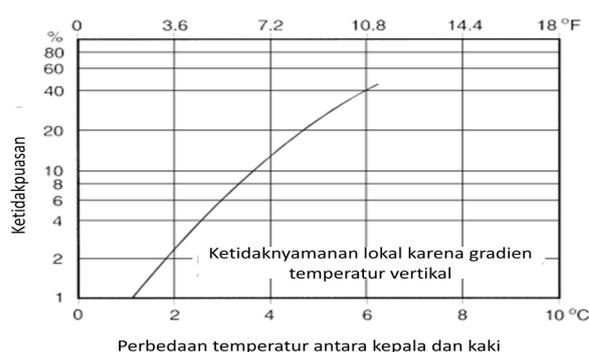
Menurut ASHRAE (2004), faktor utama yang mempengaruhi efek *draft* yaitu temperatur dan kecepatan udara, intensitas turbulensi, bagian tubuh yang terekspos dan nilai insulasi pakaian yang dikenakan serta kenyamanan termal ruang secara keseluruhan. Berdasarkan (ISO 7730, 2005) penilaian terhadap tingkat ketidakpuasan penghuni terhadap efek *draft* dibagi menjadi tiga kategori yaitu A, B dan C dengan nilai 10 %, 20 % dan 30 %.

Semakin rendah suhu dan semakin tinggi aliran udara maka persentase ketidakpuasan karena efek *draft* semakin besar (Schiavon, dkk, 2014). Pada suhu 20°C dengan kecepatan udara 2 m/s maka persentase ketidakpuasan berkisar antara 20-30%, sedangkan pada suhu 26°C persentase ketidakpuasan hanya berada pada 0-3,3% (Yu, dkk, 2005) Hal ini menandakan bahwa efek *draft* akan lebih menonjol pada suhu ruangan yang rendah. Selain itu efek *draft* juga akan lebih terasa pada orang yang duduk diam (tanpa aktivitas) dan pada suhu kamar netral dibandingkan dengan orang yang aktif bergerak dan pada suhu ruangan panas (ISO-7730, 1994).



Gambar 2. Zona *Adjacent*. Rata-rata suhu ruangan 24°C dengan kecepatan udara 0,2 m/s dan kategori ketidakpuasan penghuni (DR 10%, 20%, & 30%). (Sumber: Melikov dan Langkilde, 1990)

Gradien temperatur udara vertikal adalah perbedaan suhu yang mengakibatkan suhu di area kepala lebih hangat dibandingkan dengan di kaki. Gambar 3 menunjukkan persentase tingkat kepuasan penghuni terhadap perbedaan temperatur udara kepala (yang lebih hangat) dengan kaki.



Gambar 3. Ketidaknyamanan termal lokal oleh gradien temperatur vertikal (Sumber: ASHRAE 55, 2004).

Dari gambar 3, bisa diambil kesimpulan bahwa perbedaan suhu antara kepala dan kaki harus < 3°C (untuk mencapai tingkat ketidakpuasan < 10%).

Menurut ISO 7730 (1994), kecepatan udara dalam area hunian (*occupied zone*) harus berada di bawah 0,25 m/s dengan temperatur gradien vertikal kurang dari 3°C untuk

perbedaan antara pergelangan kaki (0,1 m) dan kepala (1,8 m). Walaupun begitu, penelitian oleh Yu dkk (2005), menemukan bahwa ketidakpuasan karena temperatur gradien vertikal hanya terjadi pada ruangan dengan suhu di bawah 20°C.

(1) Prinsip Aplikasi

Perbedaan suhu antara pasokan (*diffuser/inlet*) dan pembuangan udara (*exhaust/outlet*) berada pada rentang 5 sampai 12°C. Secara normal akan ada dua perbedaan zona suhu secara vertikal, yaitu zona hunian/zona manusia (<1,8 m di atas lantai) dan zona kontaminasi (>1,8-2 m di atas lantai). Oleh sebab itu, maka sistem DV dapat memberikan kenyamanan dengan menyediakan kualitas udara yang lebih tinggi (dibandingkan dengan sistem konvensional atau *mixing AC*) di zona hunian (bandingkan dengan sistem kerjanya yang mengangkat polutan dan udara panas ke atas ruangan). Sistem DV ini sangat cocok untuk diterapkan pada situasi-situasi berikut (Melikov, 2017), (Industries, 2016):

- Di mana polutan suhunya lebih panas atau ringan dari udara disekitarnya;
- Di mana udara pasokan dari difuser lebih dingin daripada udara sekitar (cocok untuk iklim tropis);
- Pada ruangan dengan plafon yang tinggi (lebih tinggi dari 3 m);
- Ketika ada beban panas dibagian atas ruangan;
- Di mana ruangan membutuhkan aliran pasokan udara yang besar (*Tingkat aliran udara per unit luas lantai yang tinggi (seperti dalam lobi, bioskop, ruang konferensi dan lain-lain);
- Aplikasi yang membutuhkan aliran udara yang terarah (tanpa ada penghalang); dan
- Ruang dengan kontaminasi atau polutan yang tinggi, seperti ruang merokok dan industri.

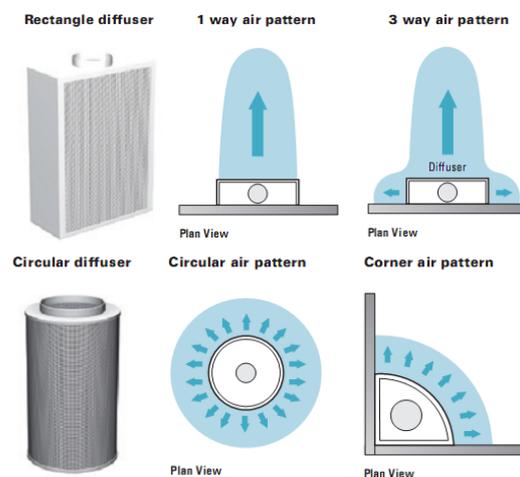
Menurut sumber yang sama sistem DV tidak cocok (bila dibandingkan dengan sistem *mixing*) jika diterapkan pada kasus seperti berikut:

- Ketika kelebihan panas dalam ruangan menjadi masalah utama dan diperlukan laju aliran udara luar ruangan yang relatif rendah;
- Di mana tidak tersedia ruangan yang cukup (pada area lantai) untuk peletakan difuser pasokan dan salurannya;
- Ketika ruangan terlalu rendah (di bawah 3 m), bisa menggabungkan pemakaian *mixing* dan *cooling panel* atau *chilled beams*;

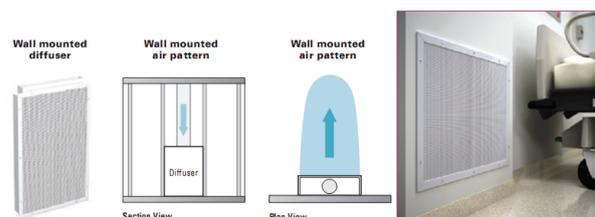
- Di mana ada banyak penghalang untuk pergerakan udara di dekat lantai (contoh furnitur); dan
- Ketika sifat kontaminan ruangan lebih dingin atau padat dari udara sekitar.

(2) Jenis-jenis *Diffuser Displacement AC*

Salah satu kelebihan dari sistem *displacement AC* yaitu penempatan difusernya yang dapat diintegrasikan dengan desain interior ruang. Beberapa jenis difuser standar untuk penyejukan udara diantaranya *Free Standing Diffuser*, *Wall Mounted*, *Floor Mounted*, dan *Industrial Diffusers* (untuk keperluan khusus) (Melikov, 2017), (Industries, 2016).



Gambar 4. *Free standing diffusers* (Sumber: Industries, 2016)



Gambar 5. *Wall mounted diffusers* dan contoh aplikasi (Sumber: Industries, 2016)

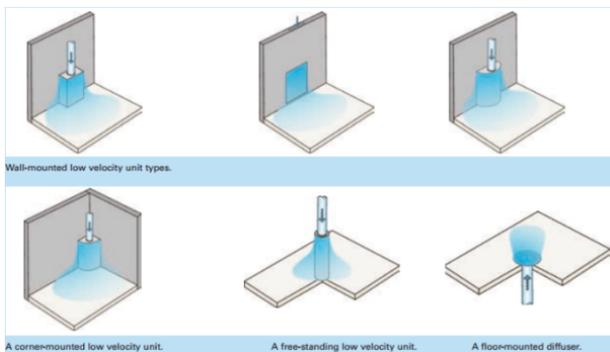
- Free Standing Diffuser*: Diletakan pada interior yang luas. Ditempelkan pada dinding atau partisi ataupun sudut ruangan dan dalam beberapa kasus dapat diletakan di tengah ruangan. Biasa tersedia dalam bentuk persegi atau bundar (*circular*). Jenis ini memungkinkan untuk dialirkan udara dengan kecepatan maksimal tanpa menciptakan efek *draft*. Cocok digunakan di ruang kelas. Pasokan udara dapat dikeluarkan dalam satu atau tiga jalur.
- Wall Mounted Diffuser*: peletakannya diintegrasikan langsung dengan dinding ruangan.

(c) *Floor Diffuser*: diletakan di lantai ruangan. Pasokan udara dikeluarkan sekeliling *diffuser*. Terbagi dalam tiga pilihan bentuk diffuser yaitu *round displacement floor grill*, *fan powered displacement floor grill* dan *linear floor grill*. Untuk keperluan estetika, bisa menggunakan *diffuser linear floor grill* yang dapat diletakan berjejer dalam satu perimeter pasokan udara dialirkan ke atas unit melewati *duct* yang tersembunyi.



Gambar 6. Floor diffusers (Sumber: Industries, 2016)

(d) *Industrial Diffusers*: untuk keperluan khusus, yang dirancang agar mampu menahan benturan atau pergerakan. Biasanya diintegrasikan untuk kebutuhan penghangatan dan penyejukan ruang.



Gambar 7. Tipe pemasangan difusers (Sumber: Industries, 2016)

(3) Peletakan dalam Ruangan

Berbeda dengan difuser AC *mixing* yang diletakan di atas zona hunian, maka difuser *displacement* AC diletakan di atas atau dekat lantai. Disebabkan karena hal ini, maka sejak awal peletakan *diffuser* DV harus selalu dikonsultasikan dengan arsitek agar dapat diintegrasikan kedalam desain sejak awal. Peletakan difuser dapat diekspose ataupun bisa ‘disembunyikan’ kedalam furnitur ruangan.

Untuk menurunkan udara panas dan mengangkat kontaminan dalam ruang, maka peletakan *diffuser*

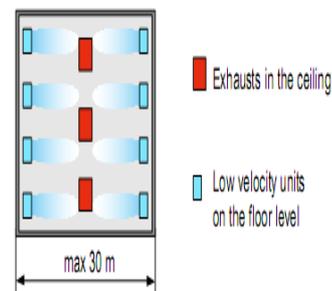
displacement yang lebih efektif adalah ditengah ruangan (Iskandriawan, 2009).

Tabel 1. Kecepatan udara dan luasan lantai untuk masing-masing ukuran difuser

Ukuran difuser (mm)	Kecepatan udara per unit (m ³ /s)	Luas lantai per supply unit (m ²)
100	Hingga 0,030	10-15
125	0,020-0,030	10-20
160	0,030-0,080	10-30
200	0,070-0,150	10-50
250	0,100-0,200	15-60
315	0,200-0,400	20-70
400	0,250-0,500	30-100
500	0,400-0,800	40-150
630	0,600-1,300	50-170

Sumber: (Halton, 2000)

Hal pertama yang dilakukan ketika mengaplikasikan sistem *displacement AC* dalam ruangan adalah menentukan kecepatan udara pasokan. Setelah itu memilih tipe difuser yang digunakan, jumlah dan lokasinya. Tetapi sebelum itu harus diperhatikan terlebih dahulu beberapa hal di bawah ini, diantaranya (Melikov, 2017): dimensi ruang, sumber panas atau polutan ruang, kemungkinan tempat difuser, halangan aliran udara dalam ruang (furnitur), persyaratan instalasi, dan aspek arsitektural lainnya.



Gambar 8. Ilustrasi jarak maksimal difuser pasokan (Sumber: Melikov 2017)

Jarak maksimal difuser pasokan dalam ruangan adalah 30 m. jika lebih dari 30 m, maka harus ditambahkan difuser diantaranya.

(4) Keuntungan dan Kerugian *Displacement AC*

(a) Keuntungan

Ada banyak keuntungan dari sistem DV, diantaranya jika dibandingkan dengan sistem *mixing*, DV memiliki kualitas udara yang lebih tinggi di zona hunian, efektifitas ventilasi yang tinggi (Yuan, dkk, 2003) (Zhang, dkk, 2009). Lebih mengefisiensi penggunaan energi sehingga dapat menurunkan biaya untuk penyejukan (Chen, dkk, 1999). Selain itu, keuntungan lainnya yaitu energi penyejukan dan kapasitas permintaan yang lebih rendah untuk

mempertahankan kondisi termal yang sama pada zona hunian (*occupied zone*), periode penyejukan masih tetap bertahan lama ketika mesin AC dimatikan, kualitas udara ruang dalam zona hunian lebih baik dan tidak bising (Melikov, 2017).

(b) Kerugian

Kerugian dari sistem DV diantaranya (Kosonen, 2017):

- 1) Dapat menyebabkan ketidaknyamanan yang disebabkan oleh *draft effect* – usahakan memilih unit diffuser pasokan yang sesuai dan perhatikan area *adjacent zone* (area dekat *diffuser*),
- 2) Dapat mengganggu penataan furnitur (*jika tidak dikonsultasikan sejak awal dengan perencana),
- 3) Peletakan difuser yang tidak sesuai dapat mengganggu mobilitas pengguna ruangan,
- 4) Difuser jenis *wall mounted* memakan ruangan di dinding yang tidak sedikit sehingga dapat mengurangi luas ruang.

Selain itu kerugian lain diantaranya adalah dapat menyebabkan ketidaknyamanan jika perbedaan *gradient temperature vertical* terlalu besar ($>3^{\circ}\text{C}$ untuk mencapai PPD $<10\%$) (ASHRAE, 2004). Untuk mengatasi masalah ini maka kecepatan udara dan suhu ruangan harus diperhatikan.

(5) Biaya

Menurut (Burt, 2007), sistem DV menghabiskan biaya yang lebih tinggi $\{(\pm 5-17\% (\$1-\$5 /\text{m}^2))\}$ dibandingkan sistem konvensional untuk pemasangan awal. Burt mengadakan penelitian di Florida (iklim panas lembap). Disamping itu, jika memakai penyejukan tambahan maka biaya awal bisa mencapai $\$20-\$50/\text{m}^2$. Biaya ini dapat dikembalikan (karena proses pemakaiannya yang lebih hemat energi) dalam waktu 3-20 tahun tergantung dari iklim setempat.

Penutup

Penggunaan *displacement AC* pada bangunan masih belum umum jika dibandingkan dengan *mixing AC*. Perlu kerjasama semua pihak untuk dapat memasyarakatkan penggunaan sistem. Pada ruang-ruang yang memenuhi syarat seperti yang disebutkan pada bagian 3.1. Arsitek perlu bekerjasama dengan bagian ahli utilitas untuk dapat menemukan cara dan posisi pemasangan yang tepat sehingga efek *draft* dan *gradient temperature vertical* tidak terjadi pada penghuni ruangan.

Selain itu, di tengah situasi dan kondisi dunia yang dilanda *pandemic COVID-19*, maka perlu diadakan penelitian lanjutan tentang peran *displacement AC* dalam mengurangi penyebaran virus COVID-19 dalam ruangan.

Daftar Pustaka

- Allesandro Canavale, U. A. (2020). Smart Electrochromic Windows to Enhance Building Energy Efficiency and Visual Comfort. *Energies*, 1-17.
- Arsen Melikov, E. M. (2017). *REHVA Guidebook no.23: Displacement Ventilation*. Brussels: REHVA.
- Bambang Iskandriawan, P. I. (2009). Performance Analyse of Air Mixed and Displacement Ventilation System in Office Room on Computational Fluid Dynamic. *IPTEK*, 74-82.
- Burt, L. W. (2007). *Life cycle cost of displacement ventilation in an office building*. Florida: University of Florida.
- Chen, Q., Glicksman, L. R., & Yuan, X. (1999). *Performance evaluation and development of design guidelines for displacement ventilation*. Atlanta: ASHRAE.
- Halton. (2000). *Displacement Ventilation System*. Scottsville: Halton Company.
- Hamilton, S. D., Roth, K. W., & Brodrick, J. (2004). Displacement Ventilation. *ASHRAE*, P 56.
- ISO 7730. (2005). *Moderate Thermal Environment-Determination on the PMV and PPD Indices and Specification of the Condition for Thermal Comfort*. Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO-7730. (1994). *Moderate Thermal Environment*. Geneva: International organizations for Standardization.
- John A Duffie, W. A. (2006). *Solar engineering of thermal process*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- K.Wang, S. (2000). *Handbook of Air Condition and Refrigeration*. New York: McGraw-Hill.
- Klepeis, N., Nelson, W., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., et al. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resources for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 11(3), 231-252.
- Melikov, A. K., & Langkilde, G. (1990). Displacement Ventilation-Airflow in the near zone. *ROOMVENT'90 (Volume Sesion B1)*, (hal. Paper 23). Oslo.
- Price Industries. (2016). Engineering Guide Displacement Ventilation. Dalam P. Industries, *Price Engineer HVAC Handbook* (hal. Section J (J2-48)). Price Industries Limited.
- Ren, S., Tian, S., & Meng, X. (2015). Comparison of Displacement Ventilation, Mixing Ventilation and Underfloor Air Distribution System. *ICACHE 2015* (hal. 79-82). Guangzhou: Atlantis Press.
- Risto Kosonen, A. M. (2017). *Displacement Ventilation, REHVA Guidebook*. Rue Washington-Brussels: REHVA
- Satwiko, P. (2005). *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: ANDI.
- Schiavon, S., & dkk. (2014). Sensation of draft at ankles for displacement ventilation and underfloor air distribution systems. *Center for the Built Environment*.
- Schild, P. G. (2004). *Displacement Ventilation*. Brussels: Air Infiltration and Ventilation Centre.
- Seputra, J. A. (2018). Kajian numerik distribusi udara pada ruangan ber-AC untuk mencapai tingkat efisiensi energi yang optimal. *Arteks*, 45-56.
- Sujanova, P., Rychtarikova, M., Mayor, T. S., & Hyder, A. (2019). A healthy, energy-efficient and comfortable indoor environment, a review. *Energies* 12, 1414.
- Yu, W., & dkk. (2005). Thermal effect of temperature gradient in a field environment chamber served by displacement ventilation system in the tropics. *Building and Environment*

- Yuan, X., Chen, Q., & Glicksman, L. R. (2003). System performance evaluation and design guidelines for displacement ventilation. *ASHRAE*, 1-12.
- Zhang, T., Lee, K., & Chen, Q. (2009). A simplified approach to describe complex in displacement ventilation for CFD simulations. *Indoor Air*, 19 (3), 255-267.