

# Ventilasi Hybrid untuk Desain Ruang Kelas Sekolah Dian Harapan Holland Village

**Yenty Rahardjo**

Program Studi Desain Interior, Fakultas Desain, Universitas Pelita Harapan  
yenty.rahardjo@uph.edu

**Felicia Hadianto**

Program Studi Desain Interior, Fakultas Desain, Universitas Pelita Harapan  
feliciahadianto19@gmail.com

## ABSTRAK

Ventilasi hybrid merupakan penggabungan sistem ventilasi alami dan buatan yang digunakan secara bersamaan atau bergantian. Ventilasi *hybrid* merupakan salah satu ventilasi yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas penghawaan di dalam ruangan. Tujuan dari sistem ventilasi *hybrid* adalah menghasilkan kualitas udara yang baik di dalam ruangan serta menjaga kenyamanan termal pengguna ruangan. Ventilasi buatan secara umum dapat menghasilkan kenyamanan termal yang bisa dikontrol namun memiliki kelemahan bisa menghasilkan kualitas udara yang buruk. Ventilasi alami bisa menghasilkan kualitas udara yang baik karena perputaran udara alami tetapi mempunyai kelemahan terhadap kenyamanan termal yang tidak dapat dikontrol. Kesehatan adalah aspek penting mendukung proses pembelajaran selain dari kenyamanan termal sehingga diperlukan ventilasi hybrid alih-alih ventilasi pasif manual atau buatan saja. Untuk mendesain ruang kelas Sekolah Dian Harapan Holland Village, digunakan metode penelitian studi kasus untuk mendapatkan sistem ventilasi yang mengoptimalkan kualitas udara serta mempertahankan suhu termal yang baik demi kesehatan untuk mendukung proses pembelajaran.

Kata Kunci: Ventilasi Hybrid, Kualitas Udara, Kenyamanan Termal, Kesehatan, Ruang Kelas

## PENDAHULUAN

Penghawaan merupakan salah satu aspek penting dalam desain sebuah bangunan atau ruangan untuk meningkatkan kesehatan pengguna. Salah satu aspek yang membuat kualitas udara menjadi tidak sehat adalah kelembaban udara. Ruangan dengan kelembaban udara yang rendah akan menjadi tempat berkembangbiaknya virus dan mikroba yang akan mempengaruhi kesehatan pengguna ruangan. Ruang kelas merupakan tempat pengguna ruangan menetap dengan waktu yang cukup lama yaitu sekitar 6 jam.

Ruang kelas juga merupakan tempat utama proses belajar mengajar berlangsung. Dengan demikian, penghawaan ruang kelas adalah aspek yang penting dalam mendukung proses belajar. Ventilasi yang baik dapat mencegah dan menghambat pertumbuhan mikroba atau bakteri dalam ruang kelas. Ventilasi yang baik juga dapat

meningkatkan kadar oksigen (O<sub>2</sub>) dalam ruangan lebih tinggi dari karbondioksida (CO<sub>2</sub>) sehingga dapat membantu pengguna ruang untuk lebih fokus dan produktif dalam proses belajar.

Ventilasi hybrid dapat dideskripsikan sebagai metode menggabungkan ventilasi alami dan buatan demi mendapatkan kekuatan dari dua sistem ventilasi dan meminimalisir kelemahan dari masing-masing sistem ventilasi. Tujuan utama dari ventilasi hybrid adalah menjaga kualitas udara dalam ruangan karena mendapatkan pasokan udara segar serta menjaga kenyamanan termal dalam ruangan. Selain itu metode ventilasi hybrid ini dapat mengurangi konsentrasi CO<sub>2</sub> dan bahan kimia atau dikenal sebagai Volatile Organic Compound (VOC) (Winqvist 2018).

Sistem ventilasi hybrid ini akan digunakan di Sekolah Dian Harapan Holland Village (selanjutnya akan disebut SDH Holland Village). Ruang kelas SDH Holland Village merencanakan gedung Sekolah Dasar yang baru dengan kapasitas ruang kelas untuk 30 siswa. Desain SDH Holland Village adalah Tugas Akhir Kolaborasi dari Program Studi Desain Interior dengan Yayasan Pelita Harapan dengan objektif dapat meningkatkan kualitas kesehatan untuk pengguna ruang kelas. Penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu kemampuan dari sistem ventilasi hybrid dan sistem penghawaan yang akan digunakan dalam ruang kelas untuk meningkatkan kesehatan pengguna ruang kelas.

### **Permasalahan**

Permasalahan untuk penelitian mengenai sistem ventilasi hybrid pada desain SDH Holland Village adalah:

1. Apakah sistem ventilasi hybrid dapat meningkatkan Kesehatan dan mengoptimalkan kenyamanan termal dalam ruangan?
2. Sistem ventilasi hybrid yang seperti apa yang akan digunakan untuk desain ruang kelas SDH Holland Village?

### **Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian study kasus (*Case Study Method*). Penelitian ini bertujuan menganalisa keputusan yang diambil dari studi kasus seperti mengapa keputusan tersebut diambil, bagaimana menerapkan keputusan tersebut dan hasil apa yang diperoleh dari keputusan tersebut (Yin, 2017). Penelitian dengan metode studi kasus memiliki beberapa variasi berupa single case studies dan multiple case studies. Penelitian single case studies dapat dilakukan oleh banyak orang untuk meneliti satu kasus yang akan dianalisis dan disimpulkan secara general yang dapat diaplikasikan pada program lain.

Penelitian multiple case studies dilakukan mengacu pada beberapa kasus dengan orientasi program spesifik dan telah berhasil dan mengutip literatur. Selanjutnya penelitian ini akan menggunakan metode multiple case studies dengan mengambil data dan analisa dari 2 sumber penelitian menggunakan sistem ventilasi hybrid pada ruang kelas. Penelitian ini menggunakan studi kasus yang dilakukan oleh penelitian lain. Studi kasus pertama dilakukan oleh Vile, Thi Ho, Mark Gillott dan

Lucelia Rodrigues sebagaimana yang tercantum dalam jurnal berjudul “The Case for Hybrid Ventilated Primary Schools in Ho Chi Minh City in Vietnam” (Vile 2016).

Studi kasus kedua dan ketiga dilakukan oleh Chen-Peng Chen meneliti 2 studi kasus yaitu 2 sekolah menengah di Taiwan yang menggunakan sistem ventilasi hybrid berupa ventilasi alami dan sistem HVAC (Chen 2017).

Ketiga studi kasus ini akan menjadi dasar hasil analisa dan kesimpulan untuk mendesain Sekolah Dian Harapan Lippo Village, Manado, Indonesia.

## KAJIAN TEORI

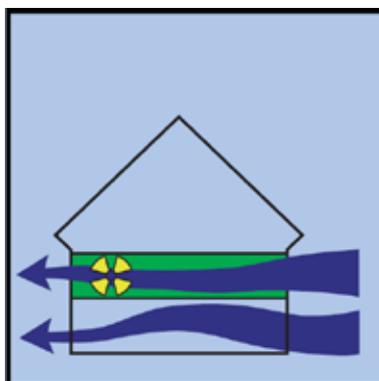
Ventilasi *Hybrid* merupakan sebuah proses distribusi dan pasokan udara ke sebuah ruangan baik secara alami (natural ventilation) dan buatan (sistem Heating, Ventilation and Air Conditioning atau disebut HVAC) (Heisselber 2002). Perbedaan ventilasi konvensional dan ventilasi hybrid adalah dalam penggunaannya dimana sistem ventilasi hybrid dapat dikontrol sesuai kebutuhan dari pengguna. Salah satu contoh teknologi yang digunakan sebagai ventilasi buatan adalah ventilasi Lossnay dari Mitsubishi. Namun teknologi ventilasi Lossnay ini kompleks dan harus disesuaikan dengan kemampuan staff untuk merawat dan mengoperasikan sistem ini.

Ventilasi Hybrid adalah sistem yang saling melengkapi antara kekurangan sistem penghawaan yang ada. Penghawaan buatan dapat menghasilkan kenyamanan yang dikontrol oleh pengguna dapat mengisi kekurangan sistem ventilasi alami yang menghasilkan kenyamanan termal yang tidak bisa dikontrol oleh pengguna. Ventilasi alami dapat memasok udara segar dapat mengisi kekurangan penghawaan buatan dalam kualitas udara yang masuk di dalam ruangan.

Ventilasi hybrid memiliki prinsip dan strategi penggunaan yang beragam, namun terdapat 3 prinsip dasar dalam pengaplikasian ventilasi hybrid yaitu:

### Ventilasi Alami dan Buatan

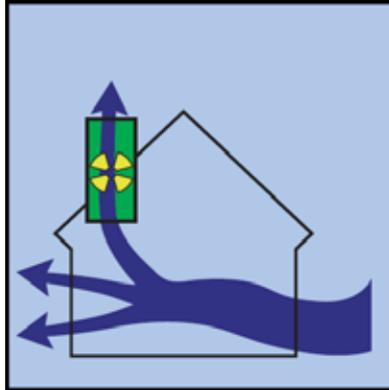
Ventilasi ini menggunakan 2 sistem yang dapat digunakan secara bergantian atau menggunakan 1 sistem untuk tugas tertentu dan sistem lain untuk tugas lainnya.



Gambar 1 Ventilasi Alami dan Buatan. (Sumber: Heisselber, 2002)

### **Ventilasi Alami dengan bantuan Kipas**

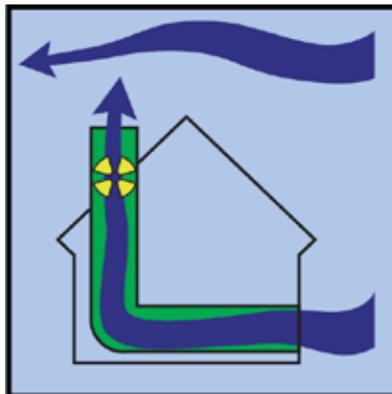
Sistem ventilasi alami yang dikombinasikan dengan kipas. Bantuan kipas ini dapat meningkatkan tekanan angin ketika udara memiliki tekanan yang rendah.



Gambar 2 Ventilasi Alami dengan Bantuan Kipas. (Sumber: Heisselber, 2002)

### **Ventilasi Buatan dengan bantuan Cerobong dan Angin**

Sistem yang berdasarkan ventilasi buatan dengan mengoptimalkan tekanan udara.



Gambar 3 Ventilasi Alami dengan Bantuan Cerobong dan Angin.  
(Sumber: Heisselber, 2002)

Penggunaan ventilasi alami pada ruang kelas (tanpa ventilasi buatan) akan mengakibatkan peningkatan kadar CO<sub>2</sub> pada saat ruang kelas digunakan aktivitas belajar. Ketika istirahat, kadar CO<sub>2</sub> di ruang kelas menurun ketika ruang kelas kosong. Penggunaan ventilasi hybrid akan meningkatkan kadar O<sub>2</sub> lebih baik karena memiliki 2 sumber pasokan O<sub>2</sub> (ventilasi alami dan buatan) dibanding dengan kadar CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh pengguna ruang.

Ventilasi Hybrid juga ditemukan dalam prinsip Metode Ventilasi Campuran (Mixed Method Ventilation) (Brager 2000). Penggunaan Mixed Method Ventilation dieksekusi dalam desain dengan baik akan menghasilkan kenyamanan yang maksimal bahkan dapat mengurangi penggunaan energi. Diantara Mixed Method Ventilation, Concurrent Mixed Method Operation adalah strategi pengontrolan jendela atau bukaan dengan pembagian zone pendinginan berdasarkan ruangan.

Walaupun metode ini dapat memaksimalkan kenyamanan dan mengurangi energi, di saat yang sama bisa sangat merugikan tergantung kepada pengguna dan sistem pengontrolan HVAC.

Berikut ini adalah tabel mengenai desain dari bangunan atau ruangan disandingkan dengan sistem HVAC tertentu untuk menghasilkan *Mixed Method Ventilation* yang optimal sesuai konteks bangunan, jendela atau bukaan, pengguna dalam ruangan.

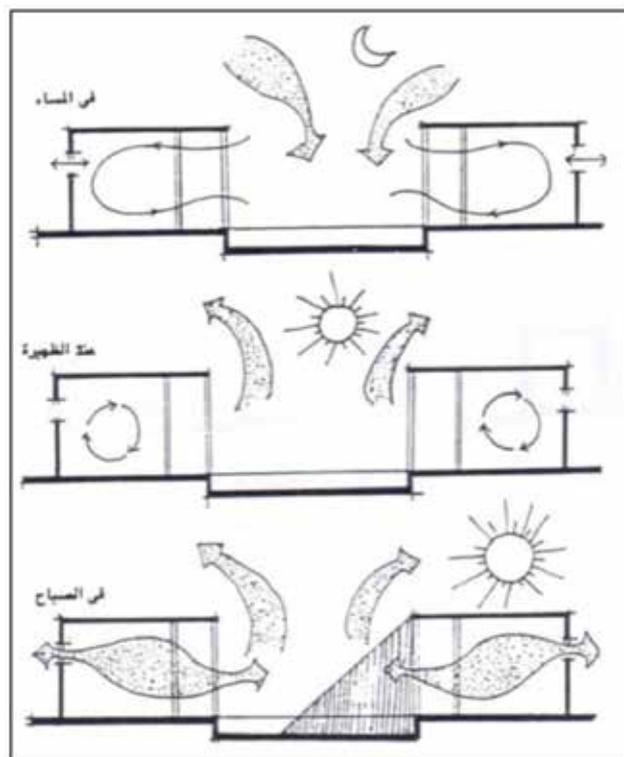
**Tabel 1 Metode Ventilasi Campuran. (Sumber: Brager, 2000)**

<b>Bentuk Bangunan</b>	<b>Ventilasi Alami</b>	<b>Sistem HVAC</b>	<b>Mixed Method Ventilation terhadap Desain</b>
<b>Bangunan luar</b>	Luasan yang kecil dapat memaksimalkan Ventilasi Silang (Cross Ventilation).	Luasan yang besar tetapi ketinggian langit-langit yang rendah.	Ukuran ruangan tidak boleh lebih dari 15m untuk mendapatkan hasil yang maksimal.
<b>Fasad Bangunan</b>	Fasad menggunakan material atau perlindungan terhadap sinar matahari untuk mengontrol masuknya sinar matahari ke ruangan dalam.	Kanopi atau fasad bangunan dari material yang ringan. Penggunaan material yang mengontrol panasnya sinar matahari masuk ke ruangan dalam.	Fasad bangunan dan kanopi harus digunakan untuk mengurangi efek panas sinar matahari yang masuk ke ruangan.
<b>Jendela dan Pencahayaan</b>	Jendela yang berukuran kecil dan dapat dioperasikan. Pencahayaan alami dimaksimalkan untuk menghindari panasnya pencahayaan buatan.	Jendela menggunakan pelapis dan material yang mengkilat untuk meminimalisir masuknya panas sinar matahari tetapi pencahayaan masuk secara maksimal. Jenis lampu digunakan hanya yang kurang menghasilkan panas.	Jendela dapat dioperasikan baik secara otomatis maupun secara manual. Desain jendela lebih rumit daripada sistem ventilasi manual maupun HVAC.
<b>Sistem Kontrol</b>	Pengontrolan keadaan di dalam ruangan akan tergantung pada pengguna. Pengguna mempertimbangkan kondisi luar ruangan untuk memaksimalkan penggunaan ventilasi.	Pengontrolan HVAC sistem biasanya dikendalikan secara otomatis. Operator sistem mempunyai fungsi yang penting.	Sistem control bisa menjadi sintesa dari sistem otomatis dan manual.

<p><b>Kenyamanan Pengguna</b></p>	<p>Kenyamanan pengguna sangat tergantung pada kondisi luar ruangan yang bisa berubah sesuai musim setiap hari.</p>	<p>Sistem HVAC biasanya menghasilkan kenyamanan yang merata. Kenyamanan pengguna sangat bergantung pada sistem HVAC.</p>	<p>Pengguna ruangan bisa mengontrol sistem HVAC dan dapat mengoperasikan ventilasi manual sesuai kondisi.</p>
-----------------------------------	--	--	---

Mixed Method Ventilation memiliki beberapa kategori berbeda dalam strategi operasionalnya (Brager 2003). Beberapa diantaranya adalah *concurrent method* dimana sistem HVAC dan ventilasi manual beroperasi di waktu yang sama, *changover method* dimana sistem operasi bergantian diantara sistem HVAC dan sistem ventilasi manual, dan *zoned method* dimana sistem HVAC beroperasi berbeda dengan sistem ventilasi manual.

Untuk mendukung pasokan udara yang optimal untuk ventilasi alami, menurut Salma Dwidar, bentuk, tata letak ruangan pada bangunan, area hijau (courtyard) dan vegetasi mempengaruhi sirkulasi udara alami yang masuk ke dalam bangunan. Inner courtyard pada bangunan dapat membantu menjaga kenyamanan termal pada bangunan karena terjadinya udara panas yang naik ke atas dan udara dingin yang berada di bawah secara otomatis. Peletakan inner courtyard berpengaruh dengan bagaimana udara berputar pada bangunan tersebut.



Gambar 4 Skema Perputaran Udara dengan Inner Courtyard terhadap Bangunan.  
(Sumber: Dwidar 2017)

Untuk mendapatkan sistem ventilasi hybrid yang optimal, karena sistem ini menggabungkan dua sistem yaitu ventilasi alami dan ventilasi buatan, maka diperlukan area hijau atau *courtyard* yang mengapit ruang kelas atau bangunan. Courtyard memastikan pasokan udara segar untuk ventilasi alami maupun ventilasi buatan.

## **PEMBAHASAN**

Untuk dapat menemukan sistem ventilasi hybrid yang sesuai dengan kondisi Sekolah Dian Harapan Holland Village Manado, maka diadakan penelitian dengan studi kasus berikut ini:

Sekolah Dasar Ho Chi Minh City yang merupakan studi kasus pertama hasil penelitian oleh peneliti lain (Vile 2016) memiliki courtyard di tengah bangunan sekolah sehingga mendapatkan kecepatan angin yang relatif nyaman dan penyebaran udara yang merata pada semua ruangan di bangunan sekolah.

Untuk studi kasus Sekolah Dasar Ho Chi Minh City ini, sistem ventilasi yang digunakan pada ruang kelas berupa ventilasi alami yang berasal dari jendela dan pintu ruang kelas yang dibiarkan terbuka. Sistem ventilasi alami ini didukung oleh sistem ventilasi buatan berupa kipas yang ada di langit-langit ruang kelas. Penerapan ventilasi hybrid pada ruang kelas Sekolah Dasar ini menggunakan metode *concurrent mixed-mode operation* dimana penggunaan sistem ventilasi buatan dan alami digunakan secara waktu yang bersamaan.



**Gambar 5 Kondisi Ruang Kelas Tipikal Sekolah Dasar Ho Chi Minh City.**  
(Sumber: Chen 2017)

Dengan sistem ventilasi hybrid ini, ruang kelas memiliki suhu 26,9 Celcius dan lebih dari 50% murid merasakan kenyamanan termal yang netral (tidak dingin dan tidak panas). Namun penggunaan sistem ventilasi buatan berupa kipas dinilai tidak efektif karena tidak dapat dikontrol untuk dapat menjaga kenyamanan termal di dalam ruang kelas walaupun perputaran udara baik karena adanya pasokan udara dari 2 sisi jendela dan courtyard di sebelah kiri dan kanan ruang kelas.

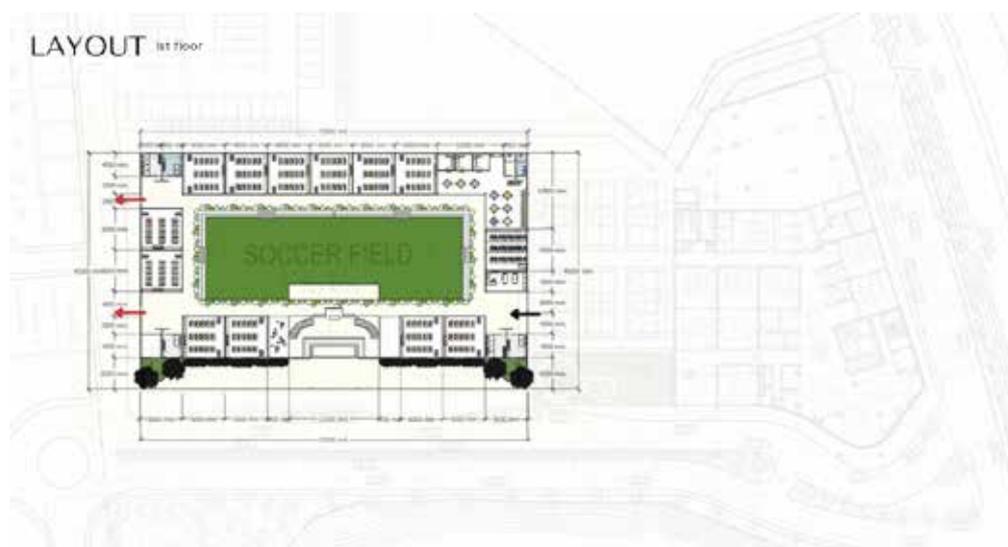
Untuk studi kasus kedua dan ketiga dilakukan di 2 sekolah menengah di Taiwan dilakukan oleh peneliti lain (Chen 2017) yang menggunakan sistem ventilasi hybrid

berupa ventilasi alami dan sistem HVAC. Sekolah pertama menggunakan sistem AC Central sebagai bagian dari ventilasi hybrid. Sekolah kedua menggunakan AC Split sebagai bagian dari ventilasi hybrid.

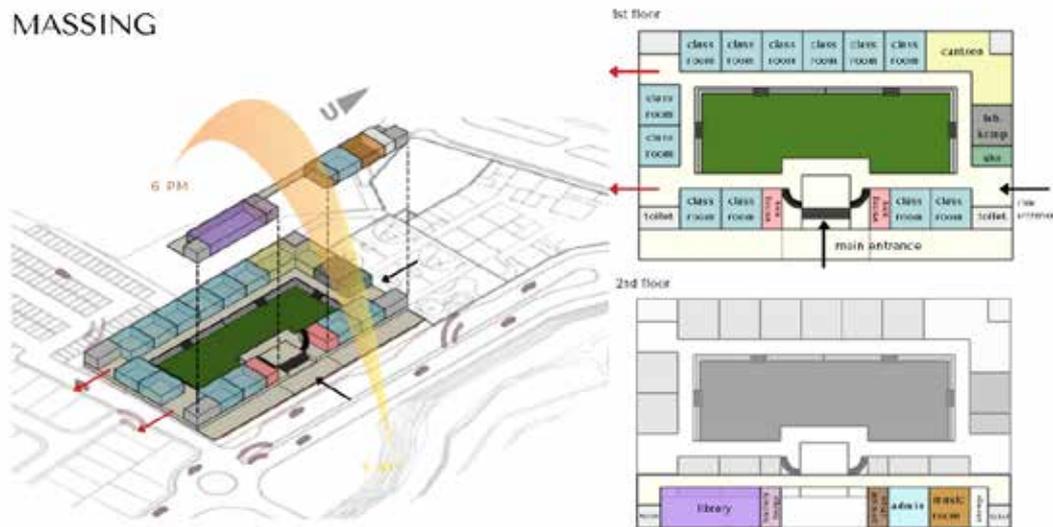
Untuk ruang kelas yang menggunakan AC Central sebagai bagian dari ventilasi hybrid adalah 28.4 Celcius. Penggunaan ventilasi alami yang berasal dari jendela digunakan dari pukul 8 – 10 pagi, kemudian dilanjutkan dari jam 3 -5 sore. Kisaran suhu di dua sekolah menengah ini sekitar 25 – 30 Celcius. Kenyamanan termal untuk siswa ruang kelas yang menggunakan AC Split sebagai bagian dari ventilasi hybrid adalah berada di suhu 29.7 Celcius. Sistem ventilasi hybrid di 2 sekolah menengah ini menggunakan metode change over yaitu penggunaan dua sistem ventilasi dengan waktu yang berbeda. Pasokan udara segar dapat dimasukkan ke dalam ruangan dan membawa polutan-polutan yang ada dalam ruangan ke luar ruang kelas melalui ventilasi alami.

Penggunaan AC Central dapat menjaga suhu kelas di dalam kelas, namun penggunaan AC Central tidak dapat langsung dikontrol oleh pengguna ruangan sehingga terdapat resiko suhu dalam ruangan kurang mencapai kenyamanan termal pengguna ruangan. Penggunaan AC Split, pengaturan suhu dapat dikontrol oleh pengguna ruangan sehingga suhu ruangan dapat disesuaikan dengan kenyamanan termal pengguna ruangan.

Melalui 3 studi kasus yang dilakukan peneliti lain diatas, maka desain ventilasi untuk Sekolah Dian Harapan Holland Village, Manado adalah pertama, tata letak ruangan yang diapit oleh area hijau (*courtyard*). Kedua, menggunakan sistem ventilasi hybrid dengan ventilasi alami dan AC Split sehingga dapat dikontrol oleh pengguna ruang. Ketiga, menggunakan metode *Mixed Method change over* dimana 2 sistem digunakan secara bergantian (waktu yang tidak bersamaan) dengan penggunaan jendela yang bisa dibuka dan ditutup dari dua sisi ruang kelas.

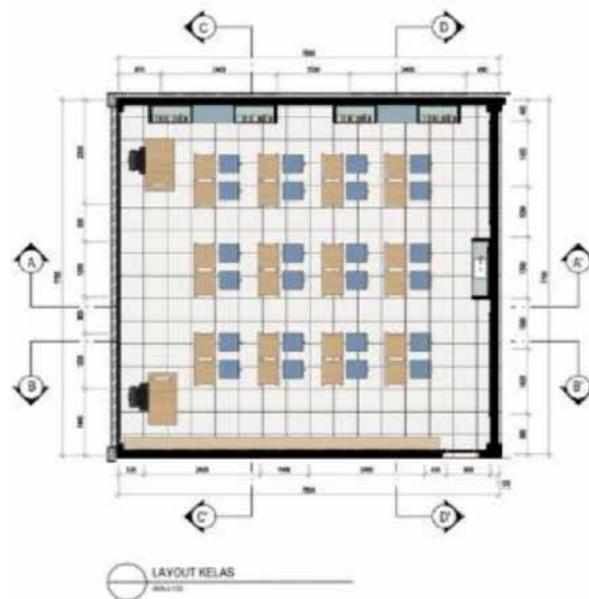


**Gambar 6 Posisi Courtyard di Desain Layout SDH Holland Village, Manado.**  
(Sumber: Felicia 2020)



Gambar 7 Posisi Courtyard di Desain Layout SDH Holland Village, Manado.  
(Sumber: Felicia 2020)

Untuk dapat mengaplikasikan mixed method dengan optimal maka ruang kelas SDH Lippo Village, Manado berukuran 15 m x 15 m dan tinggi langit-langit juga rendah yaitu 2.7 meter seperti bisa dilihat di elevasi ruang kelas. Atap bangunan juga melampaui bangunan sehingga menutup sinar matahari langsung. Jendela yang dapat dioperasikan secara manual jika diperlukan untuk menggunakan ventilasi manual dari bukan jendela. Jendela yang digunakan pada ruang kelas berupa jendela *sliding* dengan penambahan *vertical blind* untuk mengurangi udara dingin dari sistem AC yang dapat keluar ruangan melalui jendela.



Gambar 8 Layout Ruang Kelas Sekolah Dian Harapan Lippo Village, Manado.  
(Sumber: Felicia 2020)



Gambar 9 Elvasi Ruang Kelas Sekolah Dian Harapan Lippo Village, Manado.  
(Sumber: Felicia 2020)



Gambar 10 Penggunaan Horizontal Blind pada Jendela Ruang Kelas. (Sumber : Felicia 2020)

Untuk pengontrolan sistem HVAC diperlukan fleksibilitas untuk mendapatkan mixed method yang sesuai dengan ruang kelas. Terdapat 2 alternatif AC yang dapat digunakan dalam ruang kelas SDH Holland Village sebagai sistem ventilasi buatan. Alternatif yang pertama merupakan penggunaan AC *split wall* yang diletakkan pada dinding ruang kelas. Kelebihan dalam penggunaan AC *split wall* adalah udara dalam ruangan yang segera dingin, karena AC *split wall* memang ditujukan untuk ruangan kecil.



Gambar 11 Ruang Kelas dengan AC Split. (Sumber: Pribadi)

Alternatif kedua merupakan penggunaan AC *split* dengan jenis *split duct*, kelebihan AC ini dibandingkan dengan AC *split wall* berada pada aspek *design* dimana secara *design* instalasi AC tidak akan terlihat pada ruangan, tidak ada kebisingan yang berlebihan walaupun AC sedang bermasalah, sehingga kegiatan pada ruangan tidak terganggu dan dapat berjalan dengan optimal.



**Gambar 12** Penempatan AC *Central / Split Duct* pada Ruang Kelas. (Sumber: Data Pribadi)

Sistem AC sentral memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan AC *split* karena dapat diatur dari 1 unit dan memiliki suara yang cenderung halus dan tidak bising sehingga tidak mengganggu aktivitas belajar yang sedang berlangsung di dalam kelas. Udara yang dihasilkan oleh AC *central* cenderung lebih sejuk karena ukurannya yang lebih besar. Namun alternatif penggunaan AC *central* pada ruang kelas SDH Lippo Villlage, Menado tidak disarankan karena selain pengoperasiannya membutuhkan staff yang mengerti sistem AC central. Dan juga AC *central* membutuhkan tempat yang besar untuk menempatkan chiller, sedangkan dengan bangunan SDH yang hanya 1 lantai perlu di pertimbangkan kembali penggunaan AC *central* sebagai ventilasi buatan.

## **SIMPULAN & REKOMENDASI**

Pertukaran udara didalam kelas menjadi salah satu aspek penting dalam menjaga kesehatan murid. Untuk system penghawaan tidak cukup hanya mendinginkan suhu untuk kenyamanan tubuh tetapi system penghawaan bisa menjaga kesehatan pengguna ruangan. Untuk desain Sekolah Dian Harapan Lippo Village Menado yang mengutamakan kenyamanan dan kesehatan, digunakan system ventilasi Hybrid dengan menggunakan mixed method. Namun ventilasi hybrid juga sangat bergantung dengan pengguna ruangan serta fitur dalam desain interior ruang kelas. Untuk desain ruang kelas dalam ukuran, tinggi langit-langit, bahan fasad bangunan dan bukaan jendela yang bisa dioperasikan secara manual berperan penting dalam memaksimalkan ventilasi Hybrid.

Demikian juga harus dipertimbangkan pengguna ruangan dan bagaimana pengguna dapat mengontrol ventilasi hybrid sesuai situasi dan kondisi alam

maupun sekitar area sekolah. Bangunan sekolah juga harus didesain untuk memaksimalkan pasokan udara bersih dan segar. Dalam memenuhi kebutuhan pasokan udara bersih dan segar, serta dapat menarik udara panas dengan sempurna, maka sekolah memerlukan ruang hijau terbuka (courtyard) dan area terbuka untuk membuang udara panas.

Untuk dapat menggunakan metode changeover yaitu penggunaan ventilasi secara bergantian, dengan penggunaan ventilasi hybrid maka system AC *split duct* digunakan untuk bersanding dengan ventilasi alami secara bergantian. Dengan demikian tidak ada udara yang terperangkap di dalam ruangan (udara dapat terus berputar) dan kelembaban udara tetap terjaga (mencegah pertumbuhan mikroba dan jamur). Penempatan sumber udara berada di langit – langit agar dapat mendorong polutan ke arah lantai dan memiliki exhaust pada area lantai sehingga polutan dan bakteri yang terdorong ke area lantai dapat langsung keluar dari ruangan dan mengurangi resiko terjadinya penularan penyakit di dalam ruangan.

Penggunaan ventilasi *hybrid* pada SDH Holland Village masih dapat dikembangkan lagi apabila melihat studi kasus dan contoh – contoh pengaplikasian ventilasi hybrid pada bangunan institusi. Penggunaan teknologi yang lebih kompleks dan inovatif dapat digunakan, sehingga bangunan tidak hanya memberikan dampak positif bagi penggunanya, namun juga bisa memberikan dampak positif bagi lingkungannya

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Heiselberg, Per. *Principles of Hybrid Ventilation*. (2002)  
.Denmark: KOMMUNIK Grafiske Løsninger A/S.
- Yin, Robert K. (2017) . *Case Study Research and Applications Design and Methods 6e*. California : SAGE Publication, Inc.
- Brager, G., E.Ring, and K.Powell, 2000, Mixed Methods Ventilation: HVAC Meets Mother Nature, Engineering Systems, May, pp. 60 -70  
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Ampel Surabaya. (2014) . *Prosiding Halaqoh Nasional dan Seminar Internasional Pendidikan Islam*. Surabaya.
- Chen, Chen – Peng,. (2017) . *The Influence of Air-Conditioning Managerial Scheme in Hybrid-Ventilated Classroom on Students Thermal Perception*. Taiwan.
- Vi Le, Thi Ho, Mark Gillott, dan Lucelia Rodrigues. (2016) . *The Case for Hybrid Ventilated Primary Schools in Ho Chi Minh City in Vietnam*. Los Angeles : *Buildings, People: Towards Regenerative Environments*
- Chiu, Yin-Hao, Yi-Chang Chiang, dan Yen Cheng. (2017) .*Insights into Adaptive Thermal Comfort on Learning Efficiency of Students-A Classroom-Based Case Study*. Taiwan : Medwin Publishers.
- Winqvist, Camilla Vornanen. (2018) .*Effects of Ventilation Improvement on Measured and Perceived Indoor Air Quality in a School Building with a Hybrid Ventilation System* . International Journal of Environmental Research and Public Health.
- Jowkar, Mina. (2020) . *Comfort temperature and preferred adaptive behaviour in various classroom types in the UK higher learning environments*. United Kingdom: Elsevier B.V.
- D.Mumovic. (2007) .*A comparative analysis of the indoor air quality and thermal comfort*

- in schools with natural, hybrid and mechanical ventilation strategies*. London.
- Porras-Salazar, Jose Ali. (2018) *.Reducing Classroom Temperature in a Tropical Climate Improved The Thermal Comfort and The Performance of Elementary School Pupils*. Costa Rica : John Wiley & Sons Ltd.
- University of California. (2013). About Mixed – Mode. Diakses pada 5 Februari 2022. <https://cbe.berkeley.edu/mixedmode/aboutmm.html>.
- Qian, Hua, dan Xiaohong Zheng. (2018) *. Ventilation Control For Airborne Transmission of Human Exhaled Bio-Aerosols in Buildings*. China : [https://www.researchgate.net/publication/326566845\\_Ventilation\\_control\\_for\\_airborne\\_transmission\\_of\\_human\\_exhaled\\_bio-aerosols\\_in\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/326566845_Ventilation_control_for_airborne_transmission_of_human_exhaled_bio-aerosols_in_buildings)
- Dwidar, Salma. (2017) *.Internal Courtyards One of Vocabularies of Residential Heritage Architecture and Its Importance in Building Contemporary National Identity*. Istanbul : <https://www.researchgate.net/publication/328130539>
- Aryani, Silfia Mona, Soepono Sasongko, If. Bambang Sulistyono, dan Nur Hidayati. (2017) *.Courtyard Placement for Maintaining Air Movement of Natural Ventilation inside a Transformed House*. Surakarta : Atlantis Press..
- Kindangen, Jefrey I.. (2017) *.Investigation of Thermal Environments in Humid Tropical Classroom in Indonesia*. Journal of Engineering and Architecture, Vol. 5, No. 1, pp. 1-14
- Hamzah, Baharuddin, et. al. . (2018). *Thermal Comfort Analyses of Secondary School Students in the Tropics*. Buildings Article