

KINERJA THERMAL FASAD GANDA BERLUBANG BERBAHAN ALUMINIUM COMPOSITE PANEL PADA IKLIM PANAS LEMBAB

Abdi Gunawan Djafar^{1*}, Niniek Pratiwi²

^{1,2}Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Jalan Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie
Kabupaten Bone Bolango, 96554
*abdi_djafar@ung.ac.id

ABSTRACT.

The room, which is shaded by the double perforated facade panels in the Faculty of Engineering, State University of Gorontalo feels more comfortable than other rooms that are not shaded. A research on the performance of the perforated double facade was conducted to learn more about this condition. First, measurement of air temperature is carried out on the room shaded by the perforated double facade, the room that is not shaded, and the air temperature in the double perforated facade panel itself. The measurement results are compared and sorted to get the highest, the lowest, and the average value. Then, the difference in the performance between the two rooms and the panel itself would be obtained. From measurements for two weeks, it was found that the air temperature of a room without a double perforated facade can be up to 8°C higher than a room with a perforated double facade. However, even though it feels comfortable, the air temperature in this double-facade room has not yet reached a comfortable room temperature standard.

Keywords: *Façade, Double Skin Façade, Perforated Façade, Room Air Temperature*

ABSTRAK.

Ruangan yang diteduhkan oleh panel fasad ganda berlubang pada gedung fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo terasa lebih nyaman jika dibandingkan ruangan lainnya yang tidak diteduhkan. Untuk mempelajari penyebabnya maka dilakukan penelitian terhadap kinerja fasad ganda berlubang. Pengukuran suhu udara dilakukan terhadap ruangan yang diteduhkan oleh fasad ganda berlubang, ruangan yang tidak diteduhkan, serta suhu udara pada panel fasad ganda berlubang itu sendiri. Hasil pengukuran dibandingkan dan diurutkan untuk mendapat nilai tertinggi, dan terendah, dihitung rata-ratanya, serta nilai selisih antara kedua ruangan, serta antara ruangan dan panel itu sendiri. Dari pengukuran selama 2 pekan, ditemukan bahwa suhu udara ruangan tanpa fasad ganda berlubang dapat menjadi lebih tinggi hingga 8°C dibandingkan ruangan yang dinaungi fasad ganda berlubang. Namun meskipun terasa nyaman, suhu udara dalam ruangan berfasad ganda berlubang ini belum bisa mencapai standar suhu ruangan yang nyaman.

Kata kunci: Fasad, Fasad Kulit Ganda, Fasad Berlubang, Suhu Udara Ruangan

PENDAHULUAN

Pengkondisi udara atau Air Conditioner (AC) telah menjadi pilihan utama dibanding menggunakan kipas angin dan memanfaatkan aliran udara/angin dalam menciptakan ruangan yang nyaman secara thermal. Hampir semua bangunan dari berbagai fungsi dan ukuran menggunakannya. Pada tahun 2019 terhitung di Indonesia total jumlah pengkondisi udara yang digunakan sebanyak 223 juta unit, dimana pada tahun 2016 beban puncak listrik yang digunakan untuk pengkondisian udara telah mencapai 15% dari total seluruh penggunaan energi listrik, dan angka ini dapat

meningkat hingga 40% pada tahun 2050 [1]. Pada penelitian lainnya disebutkan bahwa beban puncak penggunaan listrik di Indonesia dapat meningkat hingga mencapai 77,3 GW di sekitar tahun 2010-2030 dimana faktor utama peningkatannya adalah konsumsi listrik dari pengkondisi udara [2]. Besarnya angka penggunaan energi listrik ini akan berdampak berbagai hal di masa yang akan datang. Untuk itu perlu adanya perhatian lebih terhadap hal ini. Indonesia yang merupakan negara yang berada di iklim tropis lembab dengan radiasi sinar matahari yang tinggi, suhu udara yang tinggi, kelembaban yang tinggi, yang kesemuanya berdampak pada

intensitas penggunaan pengkondisian udara yang tinggi pula.

Usaha untuk menurunkan besar penggunaan energi untuk pengkondisi udara dapat dilakukan dari berbagai sisi baik merekayasa pengkondisi udara yang hemat energi hingga merekayasa bangunan yang bisa mengurangi penggunaan energi listrik. AC sebagai alat yang diletakkan di dalam bangunan, seharusnya bisa direkayasa agar beban kerja pengkondisi udara tidak berat sehingga daya yang digunakannya pun tidak besar dengan cara meminimalisir besar panas dalam ruangan. Untuk meminimalisir ini, arsitek dan perancang bangunan harus ikut berperan. Radiasi matahari yang tinggi di daerah beriklim tropis cenderung memanaskan bangunan. Jika luas bidang bangunan (dinding dan atap) dikurangi, dan lamanya paparan sinar matahari pada bangunan juga dikurangi, dapat mengurangi pula besar panas yang masuk ke dalam ruangan.

Fasad selubung ganda adalah salah satu cara dalam mengurangi perolehan panas khususnya pada dinding bangunan. Fasad selubung ganda telah digunakan selama hampir 1 abad di Eropa untuk menciptakan kondisi yang nyaman secara thermal baik pada musim panas dan musim dingin. Teknologi ini pun dapat diterapkan di Indonesia yang beriklim tropis lembab [3][4][5][6]. Dengan membuat dua selubung pada fasad dengan celah untuk aliran udara diantaranya, dapat mengurangi panas yang didapatkan melalui sinar matahari serta menciptakan aliran udara yang dapat mendinginkan dinding ruangan. Selubung pertama pada fasad selubung ganda akan mengurangi radiasi sinar matahari yang masuk ke dalam bangunan serta meneduhkan selubung kedua yang merupakan dinding ruangan. Melalui proses simulasi, telah diteliti bahwa fasad ganda dapat menurunkan konsumsi energi untuk pengkondisian udara sebesar 12% jika dibandingkan dengan fasad tunggal. Namun teknologi ini memiliki kelemahan yaitu biaya perancangan dan biaya material yang tinggi, dan harus dikerjakan oleh kontraktor yang ahli dibidangnya [7]. Selain itu konstruksi fasad selubung ganda yang berat dapat menambah besar beban struktural bangunan [8].

Berbagai variasi dari fasad selubung ganda telah dibangun. Desain yang umumnya digunakan, adalah selubung fasad ganda menggunakan material kaca dengan spesifikasi yang mampu mengurangi radiasi matahari. Namun di rancangan gedung-gedung fakultas di kampus 4 Universitas Negeri Gorontalo, fasad selubung

ganda yang digunakan terdiri dari panel aluminium komposit (ACP) berlubang pada selubung luarnya dan gabungan dinding batu dan jendela kaca pada selubung dalamnya.



Gambar 1. Fasad Ganda Berlubang di Fakultas Teknik UNG

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2019)

Rancangan ini dapat mengatasi kekurangan dari fasad selubung ganda yang telah disebutkan di atas. Material ACP harganya lebih terjangkau dibanding kaca khusus penahan panas, tidak terlalu sulit untuk dipasang, ringan, dan dengan lubang yang ada tidak terlalu menambah besar beban angin pada bangunan. Pengguna bangunan cukup merasakan pengaruh dari fasad selubung ganda ini dimana ruangan yang menggunakannya jauh terasa lebih nyaman dibanding ruangan yang tidak menggunakannya. Pengkondisi udara pada ruangan yang diteduhkan oleh fasad selubung ganda berlubang hanya cukup untuk dinyalakan pada suhu yang normal ruangan untuk membuatnya nyaman sehingga pengkondisi udara tidak bekerja dengan daya yang besar dan akhirnya lebih hemat energi. Perlu ada penelitian untuk mengukur kinerja thermal fasad selubung ganda yang berlubang ini mengingat potensinya yang besar dalam mengurangi besar panas dan konsumsi energi listrik untuk pengkondisi udara.

Fasad Ganda Berlubang

Penelitian mengenai fasad ganda berlubang (FGB) telah dilakukan di beberapa negara dengan iklim berbeda. Fasad ganda berlubang yang menggunakan lembaran metal dengan berbagai ukuran lubang diteliti di Spanyol, pada zona dengan iklim yang panas, panel dengan rasio luas lubang 25% (dari total luas panel) memiliki potensi penghematan energi pendinginan hingga 45% [9].

Penelitian lainnya tentang FGB di Spanyol menunjukkan bahwa fasad yang mempertimbangkan luas lubang, jarak antara lubang, dan bentuk lubang yang optimal menunjukkan penurunan penggunaan energi untuk pendinginan hingga 58% [10].

Penelitian tentang FGB di Jepang menghasilkan temuan luas lubang 50% dari total luas panel dapat menghasilkan kinerja yang seimbang antara pencahayaan alami dan penghawaan alami khususnya ketika musim semi [11]. Pada penelitian FGB dengan objek bangunan tinggi dengan lokasi di Uni Emirat Arab yang beriklim semi kering, kembali menunjukkan penghematan untuk energi pendinginan secara tahunan sebesar 8,7 hingga 49,9% [12]. Dimana pada penelitian tersebut dibuat lubang hingga sebesar 45,6% dari total luas bidang fasad namun masih memberikan dampak yang positif dalam penghematan energi untuk pendinginan bangunan. Sedangkan di Indonesia, penelitian yang membandingkan FGB pada beberapa material menunjukkan keunggulan material metal sebesar 5% hingga 23% dalam menurunkan energi untuk pengkondisian udara dibandingkan material kaca [13]. Penelitian-penelitian tentang FGB telah banyak yang menunjukkan kelebihan penerapan teknologi ini dalam mengurangi penggunaan energi untuk pengkondisian udara. Pada penelitian ini, kinerja thermal FGB akan dievaluasi melalui pengukuran suhu dan kelembaban udara untuk mengetahui secara langsung pengaruh peneduhannya terhadap suhu dan kelembaban ruangan. Jika suhu dan kelembaban udara terasa nyaman maka penggunaan energi untuk pengkondisi udara pun dapat diminimalisir atau bahkan ditiadakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif. Untuk mengetahui kinerja thermal FGB maka dilakukan pengukuran dalam ruangan. Pengukuran dilakukan dalam 2 tahap. Tahap pertama membandingkan suhu dan kelembaban udara dalam 2 ruangan dengan bentuk, orientasi, dan ukuran yang sama. Namun ruangan yang satu diteduhkan oleh FGB, dan ruangan yang satunya tanpa peneduh.

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui kinerja fasad ganda berlubang dibandingkan dengan ruangan tanpa fasad ganda berlubang. Pengukuran tahap kedua, membandingkan suhu dan kelembaban udara pada fasad ganda (eksterior) dan suhu dan kelembaban udara

dalam ruangan (interior). Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kondisi pada FGB dengan kondisi dalam ruangan. Pengukuran dilakukan secara langsung menggunakan alat ukur datalogger thermohygrometer selama kurang lebih 2 minggu. Pengukuran dilakukan ketika ruangan tidak sedang digunakan dimana tidak ada orang dan alat elektronik dalam ruangan yang dapat menghasilkan panas dan mempengaruhi hasil pengukuran. Seluruh jendela dalam keadaan tertutup, dan ruangan juga tidak memiliki ventilasi sehingga tidak terjadi pertukaran udara antara ruang dalam dan ruang luar.



Gambar 2. Tampak luar dari kedua ruangan yang diukur,
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



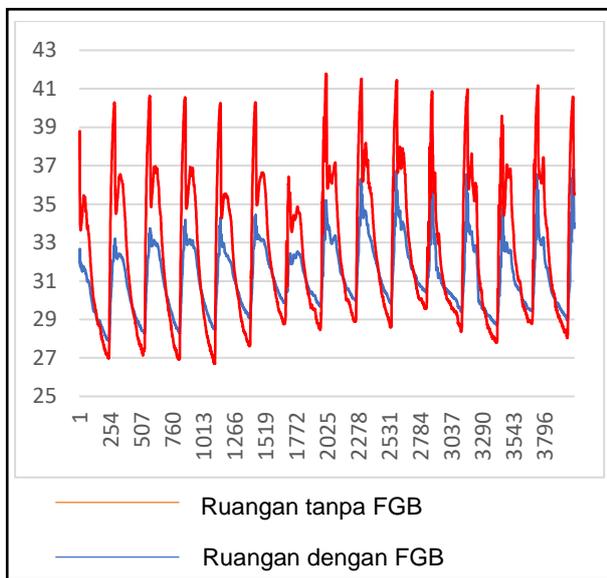
Gambar 3. Lokasi alat ukur digantung di jendela
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Karena keterbatasan jumlah alat, maka setiap pengukuran hanya memiliki 2 titik ukur. Datalogger mengukur dan menyimpan data setiap 5 menit selama 24 jam. Pada pengukuran pertama, kedua alat ukur digantung pada pengunci daun jendela sehingga suhu sekitar jendela dan dinding ruangan dapat ditangkap oleh

Pengukuran Tahap 1

Pada pengukuran tahap 1 ini, suhu dan kelembaban udara pada ruang dengan FGB dan ruangan tanpa FGB dibandingkan. Pengukuran ini dilakukan selama 14 hari. Hasil pengukuran suhu kedua ruangan ditunjukkan oleh grafik pada gambar 4.

Dari grafik ini terlihat suhu ruangan tanpa FGB lebih tinggi jika dibandingkan dengan dengan FGB. Namun mulai dari pukul 22.00 malam hingga 06.00 pagi, suhu udara pada ruangan tanpa FGB lebih rendah dibandingkan ruangan yang memiliki FGB. Ruangan tanpa FGB dapat menjadi lebih rendah dengan besar selisih suhu ruangan hingga mencapai 1,8^oC.



Gambar 7 Hasil Pengukuran Suhu Ruang Dengan dan Tanpa FGB
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Untuk melihat lebih detail kinerja FGB, suhu kedua ruangan dibandingkan nilai maksimal, minimal, dan rata-ratanya. Perbedaan suhu kedua ruangan ditunjukkan pada tabel 1

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengukuran Suhu Ruang Dengan dan Tanpa FGB

	Dengan FGB (A)	Tanpa FGB (B)	Selisih B-A
Suhu Maksimum	36,83 ^o C	41,77 ^o C	4,94 ^o C
Suhu Minimum	27,90 ^o C	26,7 ^o C	-1,2 ^o C
Rata-rata	31,23 ^o C	32,65 ^o C	1,41 ^o C

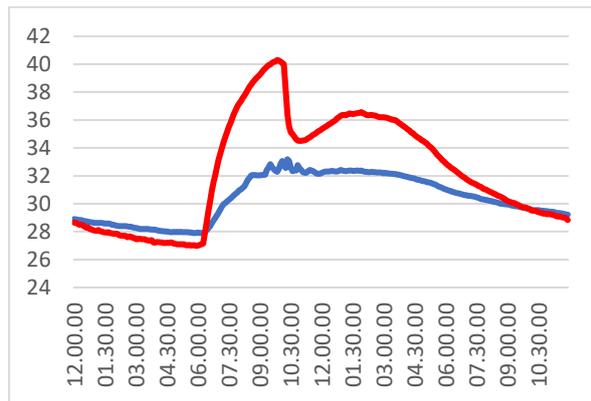
Selain statistik di atas, ditemukan juga hasil ekstrim lainnya dimana selisih suhu tertinggi antara ruang tanpa FGB dan ruang dengan FGB dapat mencapai 8^oC. Pada kondisi ini suhu ruang tanpa FGB tercatat 40,29^oC dan suhu ruang dengan FGB 32,28^oC pada jam 09.50 pagi. Selisih suhu yang ekstrim ini tidak terjadi pada suhu maksimum kedua ruangan. Jika pengukuran dilakukan sepanjang tahun kemungkinan akan didapatkan nilai-nilai ekstrim lainnya. Selisih suhu ruang yang tertinggi dalam pengukuran ini baik pada nilai maksimum, rata-rata, dan nilai ekstrimnya menunjukkan keunggulan kinerja FGB dalam menciptakan ruangan yang nyaman.

Terlihat pada gambar 4, suhu ruangan tanpa FGB setiap harinya sangat berfluktuasi. Gambar 5 menunjukkan contoh gambaran fluktuasi suhu secara detail dalam 1 hari. Suhu udara memuncak pada pagi hari, kemudian menurun menjelang siang, tidak lama, suhunya kembali naik pada siang hari. Suhu udara kemudian turun secara drastis mulai waktu sore hari. Jika dianalisa, suhu udara naik pada pagi hari akibat paparan radiasi matahari yang langsung masuk ke dalam bangunan. Kemudian mulai pada jam 10.00 pagi, sinar matahari yang jatuh di fasad mulai terhalangi oleh teritisan atap bangunan yang cukup lebar, mengakibatkan suhu udara ruangan menurun. Tak lama setelahnya, mulai sekitar jam 11.00 suhu udara dalam ruangan bertambah yang disebabkan oleh pelepasan panas atau thermal lag dari dinding yang merupakan susunan pasangan batu. Sore hari, suhu udara mulai menurun, menandakan selesainya proses pelepasan panas pada dinding.

Berbeda dengan suhu ruangan yang diteduhi FGB, fluktuasi suhu udara tidak besar. Suhu udara naik di pagi hari, kemudian mulai sekitar pukul 09.30, suhu udara mengalami perubahan naik turun yang tidak besar (1^oC). Perubahan ini dipengaruhi oleh panel FGB yang menghalangi radiasi sinar matahari. Ketika matahari bergerak naik, maka sudut datang sinar matahari terhadap alat ukur berubah. Pada titik tertentu terhalangi oleh panel, dan pada titik lainnya menembus lubang panel hingga mencapai alat ukur. Perubahan naik turun ini berkaitan dengan kerapatan lubang dan ukurannya. Setelah jam 10 pagi, suhu udara dalam ruangan cenderung stabil tanpa perubahan yang berarti. Terlihat bahwa pada ruangan dengan FGB, efek thermal lag sangat kecil bahkan tidak terasa dalam meningkatkan suhu udara dalam ruangan.

Kemudian suhu udara terus mengalami penurunan pada sore hari.

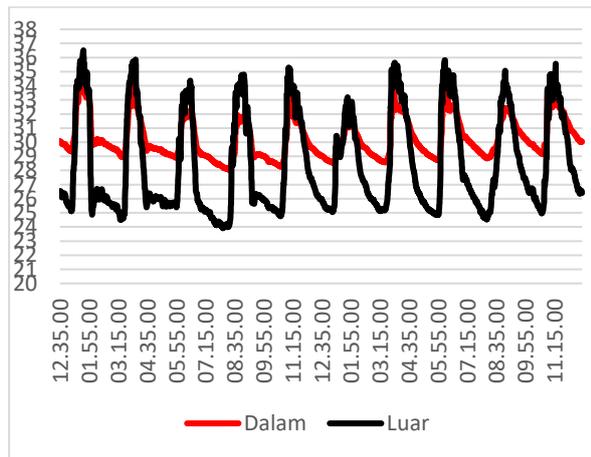
Dapat dilihat pada gambar 5, suhu udara pada ruangan tanpa FGB naik dengan sangat cepat dibandingkan ruangan dengan FGB. Selain itu, suhu maksimal ruangan dengan FGB jauh lebih rendah dibanding ruangan tanpa FGB. Ini menunjukkan keunggulan kinerja FGB yang mendeduhkan ruangan dan melindunginya dari pemanasan sinar matahari.



Gambar 8. Hasil pengukuran dalam 1 hari.
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pengukuran Tahap 2

Pada pengukuran ini, suhu udara di panel FGB dan suhu udara di dalam ruang yang diteduhkan oleh FGB dibandingkan. Hasil pengukuran suhu keduanya ditunjukkan oleh gambar 6



Gambar 9. Hasil Pengukuran Suhu Udara di panel FGB (luar) dan di dalam ruangan yang diteduhkan FGB.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Dari hasil pengukuran terlihat suhu udara pada panel FGB memiliki nilai rentang yang jauh lebih besar dibandingkan suhu udara dalam ruangan. Tren kenaikan dan penurunan suhu kedua objek pengukuran hampir sama. Perbedaannya hanyalah pada rentangnya saja. Perbedaan suhu udara pada kedua objek ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengukuran Suhu Udara pada Panel FGB dengan Suhu Udara pada Ruangan yang diteduhi FGB

	Panel FGB (A)	Dalam ruangan (B)	Selisih B-A
Suhu Maksimum	36,51°C	35,38°C	-1,13°C
Suhu Minimum	23,89°C	28,05°C	4,16°C
Rata-rata	28,51°C	30,34°C	-1,83°C

Hasil pengukuran menunjukkan suhu udara pada ruangan cenderung lebih panas dibandingkan suhu pada panel FGB /luar ruangan. Pada siang hari suhu pada panel melebihi suhu dalam ruangan, namun setelah pukul 12.00 siang, ketika panel tak lagi mendapatkan paparan sinar matahari, suhu udaranya turun secara drastis

Pada pengukuran di tahap ini juga ditemukan bahwa selisih suhu tertinggi antara ruang luar dan ruang dalam sebesar 3°C yang terjadi di siang hari. Selisih ini jauh lebih kecil dibandingkan selisih suhu udara antara ruangan yang dapat mencapai 8°C. Sedangkan pada dini hari, suhu udara pada panel dapat mencapai selisih suhu 5°C lebih rendah.

Analisa Kinerja FGB dalam Mengurangi Pemanasan

Kinerja FGB ditunjukkan melalui kemampuannya dalam menghambat pemanasan udara dalam ruangan. Seperti terlihat pada tabel 3, selisih suhu udara antara kedua ruangan meningkat dengan cepat di pagi hari. Setelah jam 10 pagi, suhu udara juga turun dengan cepat akibat peneduhan oleh teritisan atap bangunan. Namun setelah diteduhi pun, suhu kedua ruangan tidak sama. Suhu ruangan dengan FGB cenderung stabil di 32°C sedangkan suhu ruangan tanpa FGB masih lebih tinggi dibanding suhu ruangan dengan FGB.

Tabel 3. Perbedaan Suhu Dua Ruang dalam 6 Jam Pengukuran

Jam	Dengan FGB (A)	Tanpa FGB (B)	Selisih B-A
06:00:00	27.930	26.995	-0.935
06:30:00	28.227	29.421	1.194
07:00:00	29.371	33.165	3.794
07:30:00	30.275	35.511	5.236
08:00:00	30.957	37.188	6.231
08:30:00	31.850	38.375	6.525
09:00:00	32.029	39.272	7.243
09:30:00	32.828	39.982	7.154
09:50:00	32.286	40.296	8.010
10:00:00	32.854	40.182	7.328
10:30:00	32.569	35.111	2.542
11:00:00	32.415	34.501	2.086
11:30:00	32.389	34.845	2.456
12:00:00	32.209	35.350	3.141

Analisa Fluktuasi Suhu Udara yang Disebabkan Lubang FGB

Dapat dilihat pada gambar 8, suhu udara pada ruangan dengan FGB mengalami fluktuasi suhu udara di sekitar pukul 10.00. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh lubang-lubang pada FGB yang menyebabkan sebagian radiasi matahari dapat menembus dan sebagian lainnya terhalangi. Fluktuasi ini terjadi menjelang siang yang menunjukkan bahwa ketika posisi matahari cukup tinggi, maka radiasi matahari dapat menembus FGB. Namun berdasarkan hasil pengukuran, fluktuasi suhu tidak mencapai 1°C, ukuran lubang yang kecil menyebabkan radiasi matahari yang menembus lubang tidak cukup lama dalam menaikkan suhu udara dalam ruangan.

FGB efektif dalam mendeduhkan ruangan ketika ketinggian matahari masih rendah, namun ketika matahari sudah tinggi, kinerja FGB menurun.

Pada sekitar pukul 10.00, suhu ruang tanpa FGB menurun disebabkan peneduhan oleh tritisan. Namun tidak halnya pada ruangan dengan FGB, dimana pada segmen bangunan ini tidak memiliki atap di bagian atasnya.

Analisa Suhu Udara pada Malam Hari

Mulai pukul 9 malam, suhu udara ruangan dengan FGB lebih tinggi dibanding ruangan tanpa FGB. Begitupun pada pengukuran ke 2, suhu udara

sekitar panel jauh lebih rendah dibanding suhu udara dalam ruangan. Ini menunjukkan adanya faktor yang menghambat pendinginan suhu udara dalam ruangan berFGB.

Untuk itu masih diperlukan penelitian lanjutan untuk mempelajari perilaku suhu udara dalam ruangan berFGB, khususnya pada kondisi malam hari.

KESIMPULAN

Gedung baru fakultas Teknik UNG menggunakan panel fasad ganda berlubang (FGB). Ruangan yang diteduhi oleh panel ini terasa lebih nyaman dibandingkan ruangan yang tidak diteduhi. Untuk mengetahui penyebabnya maka evaluasi terhadap kinerja FGB dilakukan melalui pengukuran suhu udara ruangan. Suhu udara ruangan ini dibandingkan dengan suhu udara ruangan identik yang tidak menggunakan FGB beserta suhu udara di sekitar panel FGB itu sendiri. Pengukuran menggunakan datalogger ini dilakukan selama 2 minggu untuk tiap-tiap tahapan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu udara ruangan yang diteduhkan oleh FGB dapat mencapai 8°C lebih rendah dibandingkan suhu udara ruangan tanpa FGB. Namun suhu terendah ruangan dengan FGB yang sebesar 27°C masih lebih tinggi dari standar suhu udara dalam ruangan (20-25°C). Pengukuran ini dilakukan tanpa terjadi pertukaran udara antara bagian dalam dan luar ruangan, penelitian tentang kinerja FGB pada ruangan berventilasi perlu dilakukan untuk mengetahui suhu udara ruangan yang merupakan gabungan dari kondisi peneduhan oleh FGB dan penghawaan alami.

Dengan suhu udara pada ruangan yang diteduhi FGB yang lebih rendah dari suhu udara ruangan tanpa FGB, maka beban pendinginan pun lebih rendah, dengan demikian pengkondisi udara dapat bekerja lebih ringan dalam mendinginkan suhu udara dalam ruangan. Hal ini dapat berimbang pada penggunaan energi pengkondisian udara serta penggunaan energi bangunan yang lebih rendah.

Senada dengan penelitian-penelitian lainnya terkait fasad ganda dan fasad ganda berlubang, hasil penelitian ini menunjukkan keunggulan fasad ganda dalam menciptakan ruangan yang nyaman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Government and Professional Organizations Discuss New Standards for Air Conditioners** ICED, (21 Maret 2019), diakses 29 Maret 2020, dari artikel <http://www.iced.or.id/en/iced-ii-and-ashrae-third-workshop-on-sni-iso-16358-1/>
- [2] McNeil, M., Karali, N., Letschert, V., (2019), Forecasting Indonesia's electricity load through 2030 and peak demand reductions from appliance and lighting efficiency, **Energy for Sustainable Development** volume 49, April 2019, pages 65-77
- [3] Haase, M., Marques da Silva, F. & Amato, A. (2009). Simulation of ventilated facades in hot and humid climates. **Energy and Buildings**, 41, pp.361-373
- [4] Wong, P. C., Prasad, D. & Behnia, M. (2008). A new type of double-skin façade configuration for the hot and humid climate. **Energy and Buildings**, 40, pp.1941-1945
- [5] Mulyadi, R. (2012). **Study on naturally ventilated double-skin facade in hot and humid climate**. Doctor of Engineering, Nagoya University.
- [6] Iyati, W., Wonorahardjo, S. & Indraprastha, A. (2014). Natural airflow performance of double-skin facade types. **Architecture and Built Environment**, pp.41.
- [7] Boake, T., Harrison, K., & Chatham, A. (2002). **The Tectonics of the Double Skin**.
- [8] Poirazis, H., (2004) **Double Skin Façades for Office Buildings**, Literature Review
- [9] Blanco JM, Buruaga A, Rojí E, Cuadrado J, Pelaz B. Energy assessment and optimization of perforated metal sheet double skin façades through Design Builder; A case study in Spain. **Energy and Buildings**. 2016;111:326-36
- [10] Chi DA, Moreno D, Navarro J. Design optimisation of perforated solar façades in order to balance daylighting with thermal performance. **Building and Environment**. 2017;125:383-400
- [11] Thanyalak Srisamranrungruang, Kyosuke Hiyama, (2020), Balancing of natural ventilation, daylight, thermal effect for a building with double-skin perforated facade (DSPF), **Energy and Buildings**, Volume 210
- [12] Ann Elezabeth Johny, Kirk Shanks, (2018) Optimization of Double-Skin Facades for High-Rise Buildings in Hot Arid Climates, **Environment & Sustainability**, Vol. 7 No. 2, pp.88-100
- [13] Ardiani, Nissa & Koerniawan, Mochamad. (2018). Glass and Perforated Metal Double Skin Facade Performance in Hot Humid Climate. **DIMENSI - Journal of Architecture and Built Environment**. 44. 143-148.