

Adaptasi Kinerja Bangunan Rumah Tinggal dengan Ventilasi Atap Responsif

Mufidah^{1,2}, LMF. Purwanto² dan Ridwan Sanjaya²

¹Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

²Program Studi Doktor Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Unika Soegijapranata Semarang

Email co-author: mufidah@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Kenyamanan termal adalah suatu kondisi termal di mana penghuni dapat merasakan nyaman beraktifitas di dalam bangunan. Salah satu cara untuk mendapatkan kenyamanan dilakukan dengan desain pasif yaitu bangunan didesain supaya dapat beradaptasi terhadap perubahan cuaca di luar bangunan, misalnya dengan pengolahan fasad atau atap bangunan agar dapat memasukkan angin namun menghalangi radiasi matahari. Karena cuaca di luar selalu mengalami perubahan, maka desain bangunan yang direncanakan harus tanggap terhadap perubahan cuaca tersebut, dalam studi ini digunakan model ventilasi atap responsif. Respon elemen ventilasi atap ini, merupakan pergerakan kisi-kisi penutup ventilasi atap, yang berfungsi sebagai upaya untuk mengatur keluarnya angin dari *inlet*. Metode kajian ini diawali dari kajian pustaka tentang kenyamanan termal rumah tinggal di tropis lembap serta kajian penerapan prinsip desain pasif sebagai adaptasi bangunan terhadap perubahan cuaca. Selanjutnya dibuat analisis luasan ventilasi berdasarkan kebutuhan kenyamanan termal di dalam bangunan. Terakhir adalah perencanaan sistem kinerja bangunan secara otomatis menggunakan sensor suhu dan kelembapan Arduino. Hasil dari kajian ini adalah konsep rangkaian kerja penerapan otomatisasi pada ventilasi atap responsif, berdasarkan sensor suhu dan kelembapan di dalam ruang. Kajian awal ini masih dasar dan harapannya dapat dilanjutkan pada penelitian dengan penerapan dan eksperimen pada atap bangunan di rumah tinggal kecil.

Kata kunci: desain pasif, tropis lembap, ventilasi atap responsif

ABSTRACT

Thermal comfort is a condition where occupants can feel comfortable doing activities in the building. One of the ways to get comfort is done by passive design, in which the building is designed to adapt weather change outside the building. Because the weather outside is always changing, the planned building design must be responsive to these weather changes. This study uses a responsive roof ventilation model, that the movement of the roof vent covering grille, which serves as an attempt to regulate the exit of wind from the inlet.

This study method begins with a literature review on the thermal comfort of residential building in the humid tropics, as a study of the application of passive design principles as building adaptation to weather changes. Furthermore, an analysis of the ventilation area is made based on the need for thermal comfort in the building. Finally, the planning of building performance systems automatically using the Arduino temperature and humidity sensors.

The result is the concept of a framework as applying automation to responsive roof ventilation. This preliminary study is still basic and it is hoped that can be continued in research with the application and experimentation of the roofs in small building.

Keywords: passive design, humid tropics, responsive roof ventilation

1. Pendahuluan

Kenyamanan termal di dalam rumah tinggal menjadi hal yang penting, untuk daerah iklim tropis lembap salah satu caranya dengan menambah aliran angin ke dalam bangunan serta pengurangi radiasi matahari. Jika kondisi nyaman ini tercapai, maka penghuni dapat melaksanakan aktivitasnya dengan baik, produktif dan tetap sehat. Berdasarkan SNI 03-6572-2011 (2011) standart kenyamanan termal untuk orang Indonesia umumnya berada pada suhu $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan udara relatif $55\% \pm 10\%$.

Terdapat dua pendekatan model kenyamanan termal, yaitu model kenyamanan termal statis dan model kenyamanan termal adaptif. Model kenyamanan termal statis berdasarkan pada angka standart kenyamanan termal pada bangunan, di mana penghuni hanya sebagai penikmat kenyamanan termal bangunan. Pendekatan desain ini lebih mudah dicapai dengan cara aktif, dengan menambahkan peralatan pengkondisian udara, sehingga kenyamanan termal tidak akan terpengaruh oleh perubahan cuaca di luar bangunan. Sedangkan model kenyamanan termal adaptif, berdasarkan pertimbangan bahwa manusia mempunyai kemampuan untuk beradaptasi terhadap perubahan termal, dengan proses adaptasi dibagi menjadi tiga kategori, yaitu adaptasi pola perilaku, adaptasi fisiologis, dan adaptasi psikologis (Yao et al., 2009; de Dear et al. dalam Alfata, 2011).

Adaptasi pola perilaku adalah upaya yang dilakukan penghuni untuk mendapatkan kondisi nyaman, contohnya jika ruangan terasa panas, penghuni secara refleks mengipaskan tangan pada bagian badan, mengenakan baju tipis yang menyerap keringat dan membuka jendela agar angin dari luar bangunan mengalir masuk ke dalam bangunan. Sebaliknya, jika ruangan terasa dingin, maka secara refleks penghuni akan menutup jendela atau menggunakan baju tebal. Dalam kajian ini pola perilaku penghuni untuk mendapatkan kenyamanan termal tersebut diupayakan secara otomatis dapat dikerjakan oleh sistem dalam bangunan, sehingga penghuni dapat tetap berkonsentrasi melaksanakan aktivitasnya dengan lingkungan termal yang selalu nyaman.

Penyelesaian desain yang memaksa bangunan dapat beradaptasi dengan cuaca di luar dinamakan perancangan pasif, kelebihan desain ini adalah tidak membutuhkan energi listrik yang mahal pada masa operasional bangunan. Oleh karena itu, penyelesaian desain secara pasif ini lebih tepat diterapkan pada rumah tinggal sederhana, karena mampu menghemat biaya dengan memanfaatkan energi alam untuk memperoleh kenyamanan pada bangunan. Hal ini sesuai dengan rekomendasi dari hasil penelitian Alfata (2011) tentang perencanaan rumah tinggal melalui strategi *passive low energy design*, sehingga dapat mendorong upaya konservasi energi pada bangunan rumah tinggal.

Kondisi cuaca yang selalu berubah-ubah menyebabkan kebutuhan sistem ventilasi silang yang responsif pada perubahan tersebut. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka dalam kajian ini akan mempelajari adaptasi kinerja bangunan rumah tinggal pada iklim tropis lembap dengan model ventilasi atap responsif. Kinerja bangunan yang akan dipelajari lebih difokuskan pada penurunan suhu udara di dalam bangunan, dengan menambahkan aliran udara ke dalam bangunan, hal ini sesuai dengan pendapat Koerniawan et al., (2020) bahwa kenyamanan termal penghuni di iklim tropis lembap dapat dimanipulasi dengan mengatur kecepatan angin kepada kondisi tertentu.

Obyek yang diangkat dalam kajian ini adalah rumah tinggal tipe kecil, karena dengan ukuran lahan yang kecil ini, akan semakin sulit mendapatkan ventilasi alami ke dalam bangunan, karena hampir semua sisi bangunan berbatasan dengan bangunan di

sebelahnya. Sisi bangunan yang tidak berhimpitan langsung dengan bangunan tetangga hanya pada sisi depan, itupun akan semakin sulit mendapatkan aliran udara jika jalan di depan bangunan tidak terlalu lebar. Oleh karena itu, fasad kinetik yang akan dipelajari dalam kajian ini diterapkan pada bagian atap bangunan, karena atap bangunan mempunyai permukaan yang lebih luas dibandingkan fasad bangunan dan bagian ini tidak terhalangi oleh bangunan di sekitarnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Nugraha (2018) tentang efektifitas ventilasi pada hunian padat, dengan mengoptimalkan kondisi cuaca dan bentuk atap pada bangunan rumah tinggal.

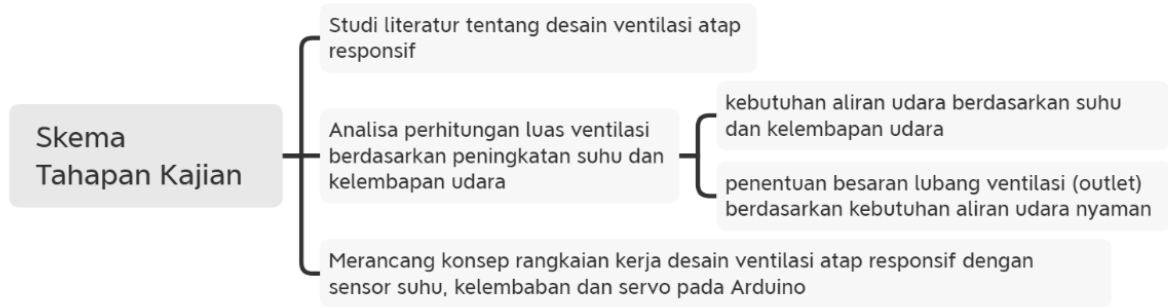
Besaran lubang ventilasi pada atap berkaitan dengan besarnya sirkulasi udara yang direncanakan di dalam ruangan untuk mendapatkan kenyamanan termal, tentunya sesuai dengan kenaikan suhu udara di dalam ruangan tersebut. Semakin tinggi suhu dan kelembapan udara, maka jumlah aliran udara yang dibutuhkan untuk mendapatkan kenyamanan termal akan semakin meningkat (Aynsley, 1977). Konsep ini sesuai dengan penelitian Yeny & Hidayat (2019) tentang penggunaan ventilasi atap untuk mengukur kenyamanan termal pada ruang-ruang kelas, yang menunjukkan hasil bahwa semakin banyak ventilasi pada ruangan kelas, maka ruangan tersebut akan menjadi lebih dingin.

Karena keberadaan suhu dan kelembapan udara di dalam ruangan tidak konstan, maka kebutuhan aliran udara juga selalu berubah. Ini yang menyebabkan besaran lubang ventilasi juga berubah, mengikuti naik turunnya suhu dan kelembapan ruangan. Oleh karena itu, dibutuhkan desain ventilasi yang dapat bergerak otomatis sesuai luasan yang dibutuhkan untuk memasukkan angin. Untuk menjawab kebutuhan ini, maka pendekatan desain yang digunakan adalah arsitektur kinetik. Ini sesuai dengan penelitian Sari & Andoni (2019) yang menggunakan jalusi adaptif vertikal sebagai bentuk penerapan teknologi dalam arsitektur, yang mampu berperan aktif, otomatis dan beradaptasi dalam merespon perubahan cuaca.

Permasalahan yang akan dipelajari dalam kajian ini adalah bagaimana konsep rangkaian kerja desain ventilasi atap responsif berdasarkan sensor suhu dan kelembapan di dalam ruang. Berikutnya adalah bagaimanakah peningkatan suhu dan kelembapan di dalam ruang mempengaruhi kebutuhan aliran udara di dalam ruang, serta hubungannya dengan perhitungan luasan *inlet* dan *outlet*? Dan terakhir adalah rekomendasi penerapan ventilasi atap responsif dari sisi arsitektural. Harapan dari kajian ini berguna sebagai alternatif untuk mendapatkan kenyamanan termal di dalam rumah tinggal tipe kecil, dengan mengoptimalkan energi angin dari luar. Selain itu kajian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam penelitian lebih lanjut tentang penerapan desain ventilasi atap responsif.

2. Bahan dan Metode

Gambar 1 menunjukkan tahapan kajian yang direncanakan dalam tiga tahap, pertama adalah studi literatur tentang kajian desain ventilasi atap pada bangunan rumah tinggal. Tahap kedua adalah analisis perhitungan luas ventilasi berdasarkan peningkatan suhu dan kelembapan udara, dengan cara menentukan hitungan kebutuhan aliran udara untuk kenyamanan termal, berdasarkan suhu dan kelembapan udara di ruangan. Besaran aliran udara ini sebagai dasar penentuan luasan lubang ventilasi pada *outlet* di atap bangunan. Tahap ketiga adalah merancang rangkaian kerja desain ventilasi atap responsif berdasarkan sensor suhu dan kelembapan udara di ruang dalam.



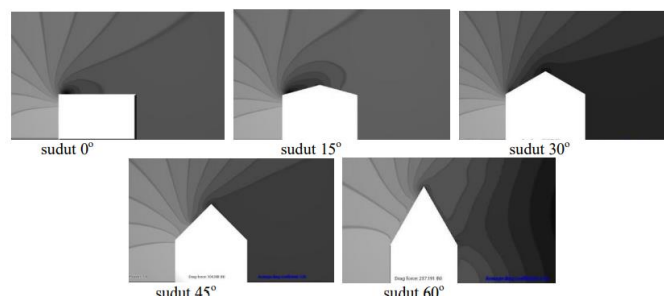
Gambar 1. Skema Tahapan Kajian
(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2021)

Metode dalam kajian ini menggunakan *literature review* dari pustaka dan penelitian yang relevan, baik pada tahap perhitungan luasan lubang ventilasi, rekomendasi perletakan *inlet* dan *outlet* serta desain rangkaian kerja antara pengaruh perubahan suhu dan kelembapan di dalam bangunan, sensor pada desain Arduino serta perubahan luasan ventilasi di atap bangunan. Hasil dari kajian ini akan dilanjutkan dengan kajian eksperimen, sebagai penerapan konsep desain responsif pada ventilasi atap rumah tinggal tipe kecil. Penelitian pada tahap lanjutan inilah yang akan dilengkapi dengan pengukuran lapangan, agar eksperimen yang diterapkan pada bangunan sesuai dengan kenyataan.

3. Hasil dan Diskusi

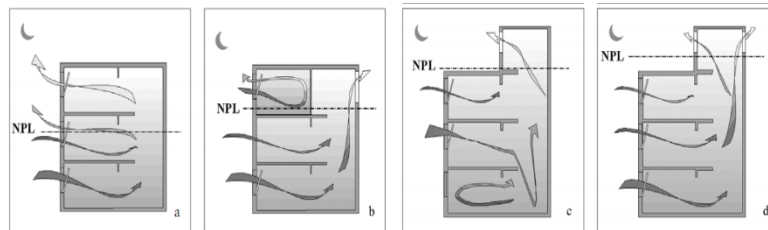
3.1. Eksplorasi Desain Ventilasi Atap

Eksplorasi desain atap yang direncanakan dalam kajian ini dibatasi pada model atap pelana, karena paling mudah dan murah untuk diterapkan pada rumah tinggal tipe kecil. Berdasar penelitian Amri & Syukur (2017) yang menganalisa aliran angin pada atap dengan kemiringan 0° , 15° , 30° , 45° , dan 60° menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan atap, maka semakin banyak bidang atap yang mendapatkan tekanan udara positif dari arah datangnya angin, sedangkan daerah bagian belakang bangunan memiliki tekanan udara paling rendah (gambar 2). Ventilasi atap merupakan bagian yang bisa dieksplorasi untuk mengoptimalkan aliran udara di rumah tinggal, hal ini juga sudah banyak digunakan pada rumah-rumah kolonial yang dibangun di Indonesia (Kindangen, 2019).



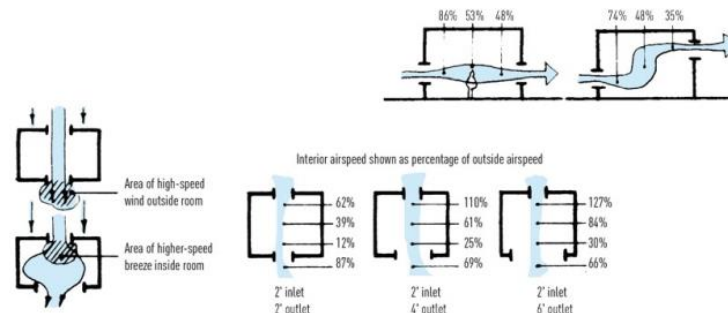
Gambar 2. Visualisasi Tekanan Udara Berdasar Perbedaan Kemiringan Atap
(Sumber: Amri & Syukur, 2017)

Rumah tinggal tipe kecil hanya memiliki fasad pada bagian dinding depan, maka bagian ini yang direncanakan sebagai *inlet*, sedangkan *outlet* direncanakan pada bagian atap bangunan, karena bagian atap ini tidak terhalangi oleh bangunan disekitarnya. Selanjutnya optimasi desain ventilasi direncanakan dengan penyebaran distribusi *outlet*, agar pola aliran udara dapat merata pada seluruh bagian bangunan (Gambar 3). Hal ini sangat penting untuk merencanakan detail ventilasi pada atap, sesuai dengan peranan ventilasinya sebagai *inlet* atau *outlet*. Karena prinsip aliran udara di dalam bangunan adalah dari zona bertekanan tinggi menuju zona bertekanan rendah (Nugraha, 2018).



Gambar 3. Posisi Outlet Untuk Pendinginan Bangunan Bertingkat
(Sumber : Ghiaus & Allard, 2005)

Hasil penelitian Nugraha (2018) tentang efektifitas ventilasi di perumahan padat, antara lain dengan tidak meletakkan orientasi bukaan pada *wind shadow* karena zona ini tidak menghisap angin, mengatur perbandingan *outlet* dan *inlet*, luasan bukaan minimal 50% dari luasan lantai ruangan, layout ruangan cukup satu lapis agar ventilasi silang lebih mudah tercapai. Hasil-hasil penelitian tersebut digunakan sebagai dasar perancangan ventilasi atap responsive.



Gambar 3. Eksperimen Desain Outlet, Untuk Memperbesar Aliran Udara
(Sumber: Bainbridge & Haggard, 2012)

Dengan memperbesar perbandingan lubang *outlet* dengan *inlet*, maka kecepatan aliran udara akan semakin besar (Gambar 4 dan Rumus 1). Selain itu dengan posisi *outlet* lebih tinggi daripada *inlet*, menjadikan distribusi aliran udara lebih merata secara vertikal, namun kecepatannya lebih rendah (Bainbridge & Haggard, 2012). Penelitian lain oleh Satwiko (2004) membuktikan beberapa strategi untuk menghasilkan ventilasi silang secara vertikal yang merata pada bangunan adalah dengan desain atap pada kemiringan 15° dan 45°, penempatan cerobong asap terintegrasi dengan ruang di dalam bangunan, menambahkan saluran berlubang di lantai (*floor tunnel*). Strategi desain pasif ini berhasil mendapatkan kenyamanan termal melalui efek pendinginan fisiologis.

3.2. Analisis Perhitungan Luas Ventilasi dan Kenyamanan Termal

Salah satu indikasi kenyamanan termal dalam bangunan ditunjukkan oleh komposisi suhu udara, kelembapan dan aliran udara di dalam ruangan. Semakin tinggi

pemanasan yang terjadi dalam ruangan, maka suhu akan semakin tinggi dan kenyamanan termal tidak tercapai. Strategi adaptasi yang paling efektif untuk mendapatkan kenyamanan termal adalah dengan menambah kecepatan angin di dalam bangunan (Nugraha, 2018). Kecepatan angin ini akan meningkatkan laju evaporasi pada kulit manusia untuk memberikan efek sejuk, artinya dengan suhu yang sama, penghuni akan merasakan nyaman (Koerniawan et al., 2020).

Berdasarkan hasil penelitian (Ariestadi et al., 2014) menyebutkan beberapa faktor desain bangunan yang berpengaruh pada kenyamanan termal, salah satunya adalah dimensi, material dan sistem ventilasi, dalam menjaga dan meningkatkan kualitas udara di dalamnya, yaitu dengan kemampuan ventilasi dalam memasukkan angin dari luar ruang sesuai dengan kebutuhan laju ventilasi. Sehingga jika diketahui laju ventilasi di dalam ruangan untuk kebutuhan nyaman, maka dapat dihitung dan ditentukan aspek desain ventilasinya sesuai dengan kebutuhan aliran angin ke dalam bangunan.

Selanjutnya Sugini (2014) menuliskan untuk menentukan luas bukaan yang dibutuhkan dalam ruangan, dapat dihitung jika diketahui debit udara yang dibutuhkan dan kecepatan angin yang dipersyaratkan dalam ruangan. Rumus yang digunakan adalah laju aliran udara dalam ruangan yang dihitung berdasarkan perkalian efektifitas bukaan, luas bukaan *inlet* dan kecepatan angin (SNI 03-6572-2011, 2011; Satwiko, 2008).

$$Q = C_v.A.V \dots\dots\dots Rumus 1$$

di mana : Q = laju aliran udara, m³ / detik
 A = luas bebas dari bukaan *inlet*, m²
 V = kecepatan angin, m/detik
 C_v = *effectiveness* dari bukaan (C_v dianggap sama dengan 0,5 ~ 0,6 untuk angin yang tegak lurus dan 0,25 ~ 0,35 untuk angin yang diagonal)
 Nilai C_v harus dikalikan dengan konstanta yang menunjukkan perbandingan proporsi *inlet* dan *outlet*. Nilai-nilai konstanta tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 : Konstanta Perbandingan Inlet dan Outlet

Perbandingan Luas <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i>	Pengali C _v	Perbandingan Luas <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i>	Pengali C _v
1 : 1	1,00	1 : 5	1,40
1 : 2	1,00	2 : 1	0,63
1 : 3	1,27	4 : 1	0,35
1 : 4	1,35	4 : 3	0,86

(Sumber : Boutet dalam Satwiko, 2008)

Berdasarkan rumus 1, dapat dihitung luasan *inlet* (A), jika nilai laju atau debit aliran udara dan kecepatan angin sudah didapatkan. Jika konstanta perbandingan *inlet* dan *outlet* dianggap 1, maka luasan *inlet* yang didapatkan sama dengan luasan *outlet*. Jika ingin memperbesar aliran udara, maka luasan *outlet* didesain lebih besar dari luasan *inlet* (Tabel 1). Standart laju udara pada rumah tinggal disajikan dalam tabel 2, sedangkan besarnya kecepatan angin dihitung menggunakan grafik pada gambar 4.

Tabel 2 : Kebutuhan Laju Udara pada Rumah Tinggal

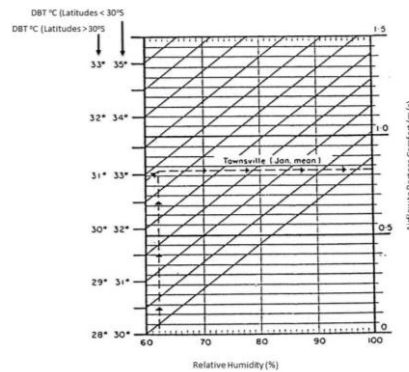
FUNGSI	SATUAN	KEBUTUHAN UDARA LUAR	
		MEROKOK	TIDAK MEROKOK
Rumah Tinggal			
a. Ruang duduk	(m ³ /min)/kamar		0,30
b. Ruang tidur	(m ³ /min)/kamar	0,75	0,30
c. Dapur	(m ³ /min)/kamar	0,75	3,00

d. Toilet	(m ³ /min)/kamar	0,30	1,50
e. Garasi (Rumah)	(m ³ /min)/mobil	-	3,00
f. Garasi bersama	(m ³ /min)/m ²	1,50	0,45

(Sumber : SNI 03-6572-2011, 2011)

Perhitungan kebutuhan aliran udara minimal untuk mencapai kenyamanan termal di dalam ruangan, dapat ditentukan dengan menggunakan grafik pada gambar 4, yang merupakan gabungan dari suhu udara dan kelembapan di dalam ruang. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan kecepatan angin berbeda-beda dan berbanding lurus dengan peningkatan suhu udara dan kelembapan di dalam ruangan (Aynsley, 1977).

Suhu dan kelembapan udara di dalam ruangan, didapatkan dari kondisi eksisting yang dicatat menggunakan alat ukur. Kemudian ditentukan kecepatan angin minimal berdasarkan suhu dan kelembapan tersebut, kecepatan angin ini yang disyaratkan agar ruangan menjadi nyaman. Nilai kecepatan angin ini adalah sama dengan nilai V pada rumus 1. Karena nilai V dan Q sudah ada, maka bisa dihitung luasan ventilasi (A) menggunakan rumus 1. Nilai A ini merupakan luasan lubang ventilasi yang sama antara *inlet* dan *outlet*. Jika ingin mendapatkan aliran angin yang lebih besar, maka berdasar tabel 2, dengan penggunaan outlet lebih besar daripada inlet, akan memperbesar aliran angin di dalam bangunan.



Gambar 4. Grafik Kecepatan Angin Minimal untuk Kenyamanan Di Dalam Ruang (Sumber: Aynsley, 1977)

Tabel 3 menunjukkan contoh perhitungan kebutuhan kecepatan angin di dalam ruangan berdasarkan grafik pada gambar 4. Data iklim dari Stasiun Gedangan Surabaya pada pencatatan 2004-2018, menunjukkan kondisi suhu udara rata-rata yang paling tinggi pada bulan Oktober, sebesar 29°C, pada saat tersebut data kelembapan udara sebesar 68%, dari komposisi ini, dibutuhkan kecepatan udara minimal 0,1 meter/detik. Data kecepatan angin di luar pada bulan tersebut sebesar 3 meter/detik, sehingga dengan desain ventilasi yang tepat, kenyamanan dalam bangunan dapat tercapai. Data bulan Januari, sebesar 27°C, pada saat tersebut data kelembapan udara sebesar 82%, dari komposisi ini, dibutuhkan kecepatan udara minimal 0,1 meter/detik. Namun data kecepatan angin di luar pada bulan tersebut sebesar 0 meter/detik.

Tabel 3 : Data Iklim pada Bulan Tertentu

No	Bulan	DBT (°C)	RH (%)	Kebutuhan angin (m/dtk)	Angin eksisting (m/dtk)
1	Oktober	29	68	0,1	3
2	November	28	74	0,1	0

3	Januari	27	82	0,1	0
4	asumsi	30	70	0,25	-
5	asumsi	31	70	0,5	-
6	asumsi	30	75	0,35	-

(Sumber : data iklim Gedangan dan analisa penulis, 2021)

Berikutnya adalah perhitungan luasan ventilasi yang diperlukan, dengan menggunakan rumus 1. Dalam tabel 4 disimulasikan kebutuhan luasan jendela sebuah ruang tidur, yang diketahui berdasarkan standart laju aliran udara pada SNI 03-6572-2011 sebesar $0,75 \text{ m}^3/\text{detik}$, dengan $cv = 0,3$ karena dianggap arah angin diagonal dan kecepatan angin di luar bangunan diasumsikan $0,1 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka luasan ventilasi dibutuhkan 25 m^2 . Jika kecepatan angin di luar bangunan diasumsikan $0,2 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka luasan ventilasi dibutuhkan $12,5 \text{ m}^2$. Sedangkan jika kecepatan angin di luar bangunan diasumsikan $0,3 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka luasan ventilasi dibutuhkan $8,33 \text{ m}^2$.

Tabel 4 : Perhitungan luasan ventilasi untuk mendapatkan nyaman

NO	Ruang	Q ($\text{m}^3 / \text{detik}$)	cv	V diluar ($\text{m}^3 / \text{detik}$)	A (m^2)
1	Ruang Tidur	0,75	0,3	0,1	25,00
2	Ruang Tidur	0,75	0,3	0,2	12,50
3	Ruang Tidur	0,75	0,3	0,3	8,33

(Sumber : Hasil Analisis)

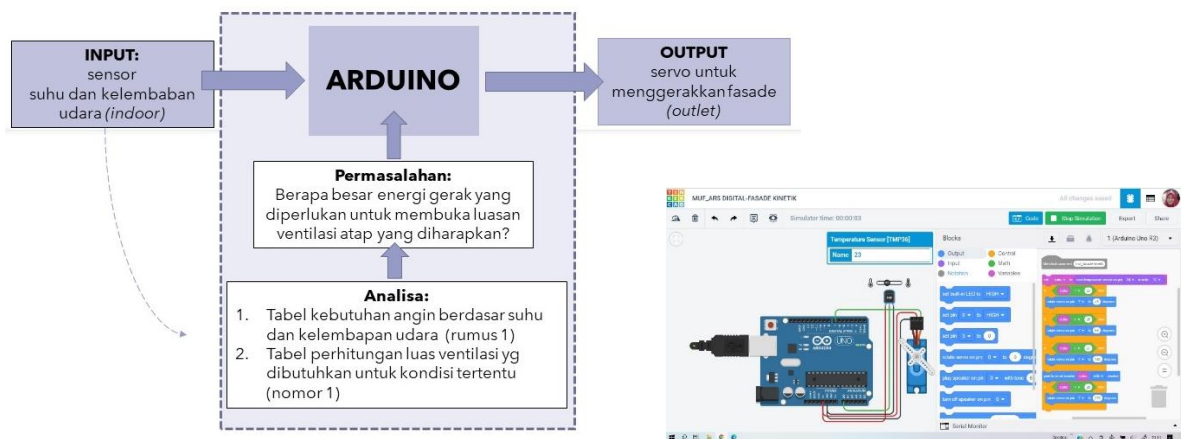
Luasan ventilasi yang dibutuhkan dalam bangunan selalu berbeda-beda mengikuti perbedaan suhu udara dan kelembapan ruangan yang berubah pula. Selanjutnya perubahan luasan jendela tersebut perlu digerakkan secara otomatis, sehingga tidak perlu ada tenaga manusia yang harus mengerjakannya.

3.3. Desain Rangkaian Kerja Ventilasi Atap Responsif Berdasarkan Sensor Suhu dan Kelembapan

Tahap selanjutnya adalah analisis untuk merangkai data suhu dan kelembapan di dalam ruang, untuk menggerakkan besaran lubang ventilasi *outlet* yang berada di atap. Karena kondisi suhu dan kelembapan di dalam ruangan selalu berubah, maka kebutuhan aliran udara juga berubah, ini berpengaruh pula pada besaran lubang ventilasi di atap (Tabel 4). Oleh karena itu dibutuhkan sebuah sistem yang dapat merespon perubahan cuaca secara otomatis, sehingga penghuni dapat tetap merasa nyaman di dalam ruangan (Elkhayat, 2014; Fox & Kemp, 2009; Kensek & Hansanuwat, 2011; Kirkegaard & Foged, 2011). Penelitian tentang bangunan pintar serta otomatisasi pada bangunan semakin banyak dikembangkan, hal ini sebagai upaya untuk mengoptimalkan dan memberikan kemudahan pada penghuni bangunan (Dobbelsteen, Andy van den Dorst & Timmeren, 2009; Elsenpeter & Velte, 2003).

Konsep *self kinetic jalusi* yang berupa jalusi adaptif yang merupakan kombinasi penerapan dari konsep respon cuaca dan adaptasi dalam arsitektur (Sari & Andoni 2019). Jalusi adaptif ini memperbaiki kualitas ventilasi alami dengan menjaga kelajuan angin agar stabil, dengan bergerak kinetis menutup ketika terjadi laju angin yang kencang dan membuka kembali pada situasi yang normal. Penelitian lain oleh Nurjannah & Alfata (2020) tentang prototip perangkat peneduh otomatis pada jendela. Penelitian ini menjelaskan pengembangan sistem mekanis dan kontrol. Penerapan aplikasi bangunan

pintar serta optimasi kecerdasan buatan pada bangunan yang terencana dengan baik, akan menghasilkan desain yang kreatif dan menghadirkan banyak kemudahan bagi penghuni (Kindangen & Putro, 2021). Gambar 5 menunjukkan rangkaian kerja sistem yang direncanakan pada bangunan, dengan menggunakan Arduino UNO sebagai alat yang dapat mengukur sensor suhu dan kelembapan dalam ruangan (Suryono, 2018). Sensor suhu dan kelembapan yang digunakan adalah DHT11 dengan menggunakan software Arduino IDE untuk memasukkan perhitungan berdasarkan rumus 1 dan gambar 4. Setelah *input* kedua data diterima dan disimulasikan oleh Arduino berdasarkan rumus yang diberikan, maka *output*-nya berupa perintah pada servo agar melakukan rotasi. Rotasi baling-baling inilah yang dihubungkan pada ventilasi atap responsif. Besaran rotasi tergantung pada seberapa besar kebutuhan memasukkan aliran udara (gambar 5).

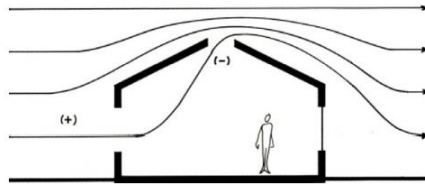


Gambar 5. Rangkaian Kerja Desain Ventilasi Atap Responsif dengan Arduino (Sumber : Analisis penulis, 2021)

Desain rangkaian kerja yang disusun dalam kajian ini berdasarkan sistem kontrol otomatis. Menurut Rachman (2016) dalam (Friadi & Junadhi, 2019), sistem kontrol adalah sistem pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa variabel atau parameter sehingga berada pada suatu nilai atau range tertentu. Penelitian serupa dilakukan oleh Friadi & Junadhi (2019) tentang sistem kontrol intensitas cahaya, suhu dan kelembapan udara, menggunakan DHT11 sebagai sensor gabungan besaran suhu dan kelembapan relatif. Sensor suhu dan kelembapan DHT11 memiliki tegangan masukan : 5 Vdc, dengan rentang temperatur : 0-50 °C kesalahan ± 2 °C dan kelembapan : 20-90% RH $\pm 5\%$ RH error.

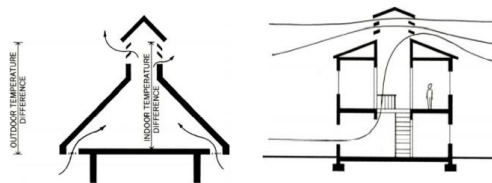
3.4. Desain Ventilasi Ventilasi Atap Responsif

Setelah menentukan sistem rangkaian kerja yang menghubungkan sensor suhu dan kelembapan udara eksisting, perhitungan kebutuhan aliran udara dan motor penggerak, maka perlu dipelajari tentang desain ventilasi pada atap, agar sistem yang direncanakan dapat bekerja maksimal. Tahap pertama adalah penentuan posisi ventilasi pada atap dan peranan ventilasi tersebut sebagai *inlet* atau *outlet*. Adanya lubang ventilasi pada atap, menyebabkan terjadinya efek venturi, yang menyedot udara dari bawah naik ke atas atap (Lechner, 2015). Desain ini dapat mengoptimalkan aliran udara, namun rawan terjadi zona mati jika ruangan di lantai bawah cukup lebar tanpa lubang ventilasi keluar (Gambar 8).



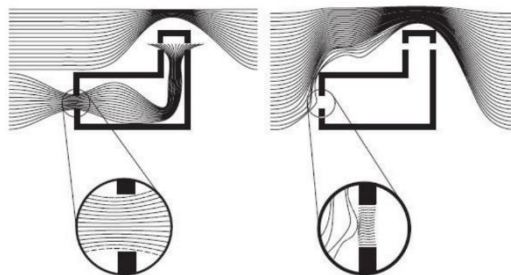
Gambar 6. Ventilasi Atap Menyebabkan Efek Venturi
(sumber: Lechner, 2015)

Pada gambar 9 menjelaskan dua model ventilasi pada atap, dengan posisi yang sama namun sudut kemiringan kisi-kisi ventilasi berbeda. Pada kemiringan kisi yang terjal, lubang ventilasi atap berperan sebagai *outlet* pada kedua sisi bangunan. Sedangkan pada kemiringan kisi yang landai, maka lubang ventilasi menjadi *inlet* (sesuai arah datang angin) dan di sisi bangunan yang berbeda, lubang ventilasi menjadi *outlet*. Pada gambar kedua ini, luas bukaan *outlet* harus lebih besar daripada luar *inlet* agar kecepatan angin dalam ruangan semakin besar (Rumus 1, Tabel 1).



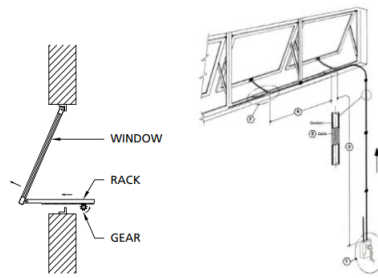
Gambar 7. Peranan Ventilasi Atap Sebagai *Inlet* Atau *Outlet*
(Sumber: Lechner, 2015)

Detil pada lubang ventilasi sangat menentukan keberadaan aliran udara di dalam bangunan. Gambar 10 menunjukkan perbedaan detil pada ventilasi, pada gambar di kanan, walaupun ventilasi menghadap arah datangnya angin, namun detil ventilasi membuat zona tersebut bertekanan negatif, sehingga angin tidak bisa masuk ke dalam bangunan (Passe & Battaglia, 2015).



Gambar 8. Detil Ventilasi menentukan Arah Aliran Udara
(Sumber: Passe & Battaglia, 2015)

Karena desain ventilasi ini harus dibuat fleksibel dan mudah dalam operasional, maka diperlukan detail desain ventilasi yang ringan, sederhana dan cukup mudah digerakkan oleh *motor servo*. Berikut adalah contoh-contoh penerapan detail ventilasi pada fasad bangunan yang digerakkan oleh motor, namun masih diperlukan penelitian lebih lanjut dengan mencoba sistem tersebut mampu dikendalikan oleh *servo* atau tidak (Gambar 11).



Gambar 9. Detail Ventilasi Dengan Motor Penggerak
(Sumber: Lechner, 2015)

4. Simpulan

Desain ventilasi atap responsif merupakan salah satu penerapan desain pasif pada bangunan, sebagai adaptasi dan respon bangunan terhadap cuaca. Penggunaan desain ventilasi atap responsif dengan dikendalikan sensor otomatis, memungkinkan penghuni merasakan kenyamanan termal di dalam bangunan dengan biaya operasional yang rendah dan *real time*. Penerapan ventilasi silang pada rumah tinggal tipe kecil lebih efektif dengan mengoptimalkan keberadaan ventilasi di atap, namun detail ventilasi harus jelas peranannya, sebagai *inlet* atau *outlet*.

Masih diperlukan penelitian lebih lanjut tentang perhitungan aliran udara di dalam ruang dan besarnya rotasi servo untuk menggerakkan bidang ventilasi pada atap. Dalam penelitian lanjutan tersebut diperlukan eksperimen nyata menggunakan rangkaian Arduino serta simulasi digital tentang kenyamanan termal di dalam bangunan.

Daftar Pustaka

- Alfata, M. N. (2011). Studi Kenyamanan Termal Adaptif Rumah Tinggal Di Kota Malang, Studi Kasus : Perumahan Sawojajar 1- Kota Malang. *Jurnal Permukiman*, 6(1), 9–17.
- Amri, S. B., & Syukur, L. O. A. (2017). Analisis Aliran Angin Pada Atap Miring Melalui Uji Simulasi Flow Design. *Langkau Betang: Jurnal Arsitektur*, 4(2), 136. <https://doi.org/10.26418/lantang.v4i2.23252>
- Ariestadi, D., Alfianto, I., & Sulton, M. (2014). Kriteria Kinerja Energi Untuk Kenyamanan Termal Pada Bangunan Fasilitas Pendidikan Tinggi Di Indonesia Analisis Dengan Metode Important Performance Analysis. *Review of Urbanism and Architectural Studies*, 12(01), 31–41. <https://doi.org/10.21776/ub.ruas.2014.012.01.4>
- Aynsley, R. M. (1977). *Architectural Aerodynamics*. Applied Science Publishers.
- Bainbridge, D., & Haggard, K. (2012). *Passive Solar Architecture: Heating, Cooling, Ventilation, Daylighting and More Using Natural Flows* (Vol. 49, Issue 05). Chelsea Green Publishing. <https://doi.org/10.5860/choice.49-2689>
- Dobbelsteen, Andy van den Dorst, M. van, & Timmeren, A. van. (2009). Smart Building in a Changing Climate. In *Techné Press, Amsterdam* (Issue 1).
- Elkhayat, Y. O. (2014). Interactive Movement in Kinetic Architecture. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 42(3), 816–845. doi.org/10.21608/jesaun.2014.115027
- Elsenpeter, R. C., & Velte, T. J. (2003). Build Your Own Smart Home. In *McGraw-Hill*.
- Fox, M., & Kemp, M. (2009). Interactive Architecture: Adaptive World. *Architectural Design, Novak*, 256. <http://www.interactive-architecture.com/>
- Friadi, R., & Junadhi, J. (2019). Sistem Kontrol Intensitas Cahaya, Suhu dan Kelembaban Udara Pada Greenhouse Berbasis Raspberry Pi. *Journal of Technopreneurship and Information System (JTIS)*, 2(1), 30–37. <https://doi.org/10.36085/jtis.v2i1.217>
- Ghiaus, C., & Allard, F. (2005). Natural Ventilation in The Urban Environment, assessment

- and design. London: Eartscan.
- Kensek, K., & Hansanuwat, R. (2011). Environment Control Systems for Sustainable Design: A Methodology for Testing, Simulating and Comparing Kinetic Facade Systems. *Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment*, 1(Nov.), 27–46.
- Kindangen, J. I. (2019). *Ventilasi Atap*. Deepublish Publisher.
- Kindangen, J. I., & Putro, M. D. (2021). *Bangunan Pintar, Dasar Aplikasi Otomasi Bangunan dan Kecerdasan Buatan*. Deepublish Publisher.
- Kirkegaard, P. H., & Foged, I. W. (2011). Development and Evaluation of a Responsive Building Envelope. *International Adaptive Architecture Conference, March*, 1–9. http://vbn.aau.dk/files/49620233/Development_and_Evaluation_of_a_Responsive_Building_Envelope.pdf
- Koerniawan, M. D., Aziiz, A. D., Ardiani, N. A., & Suhendri, S. (2020). *Kenyamanan Termal Pekerja di Iklim Tropis-Lembap Indonesia* (Issue August). ITB Press.
- Lechner, N. (2015). *Heating, Cooling, Lighting, Sustainable Methods for Architects*. John Wiley & Sons, Inc. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- Nugraha, D. (2018). *Efektivitas Ventilasi Rumah Lingkungan Padat Di Perumnas Depok Timur*. 01(01), 27–31.
- Nurjannah, A., & Alfata, M. N. F. (2020). Prototype Of Automated Shading Device: Preliminary Development. *Engineering Journal*, 24(4), 229–238. <https://doi.org/10.4186/ej.2020.24.4.229>
- Passe, U., & Battaglia, F. (2015). Designing Spaces for Natural Ventilation. In *Designing Spaces for Natural Ventilation*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203583470>
- Sari, W. E., & Andoni, H. (2019). Self-Kinetic Jalousie Sebagai Penerapan Teknologi Climate Responsive-Adaptable Architecture. *Modul*, 19(2), 119. <https://doi.org/10.14710/mdl.19.2.2019.131-138>
- Satwiko, P. (2004). Solar-Wind Generated Roof Ventilation System (SiVATAS) for a Warm-Humid Climate. *International Journal of Ventilation*, 3(3), 209–218. <https://doi.org/10.1080/14733315.2004.11683915>
- Satwiko, P. (2008). *Fisika Bangunan*. Penerbit Andi.
- SNI 03-6572-2011. (2011). *Tentang Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung* (pp. 1–55). <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132100514/pendidikan/perencanaan-pendingin.pdf>
- Sugini. (2014). *Kenyamanan Termal Ruang, Konsep dan Penerapan pada Desain*. Graha Ilmu.
- Suryono. (2018). *Teknologi Sensor, konsep Fisis dan Teknik Akuisisi Data Berbasis Mikrokontroler*. Undip Press.
- Yao, R., Li, B., & Liu, J. (2009). A Theoretical Adaptive Model of Thermal Comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Building and Environment*, 44(10), 2089–2096. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.014>
- Yeny, A., & Hidayat, M. S. (2019). Kajian Penggunaan Ventilasi Alami Terhadap Kenyamanan Termal Ruang Kelas (Studi Kasus : SDN Pondok Jagung 1 Tangerang Selatan). *Vitruvian*, 8(3), 141. <https://doi.org/10.22441/vitruvian.2019.v8i3.005>