

Komparasi Standar dan Regulasi Terkait Ventilasi Alami di Iklim Tropis

Setianingtyas Permatasari ¹, Amalia Nurjannah ², Andhang Rakhmat Trihamdani ³

^{1,2,3} Research, R&D Center YKK AP Indonesia.

Email korespondensi: Setianingtyas-p@ykkap.co.id, Amalia-n@ykkap.co.id, Andhang-rt@ykkap.co.id

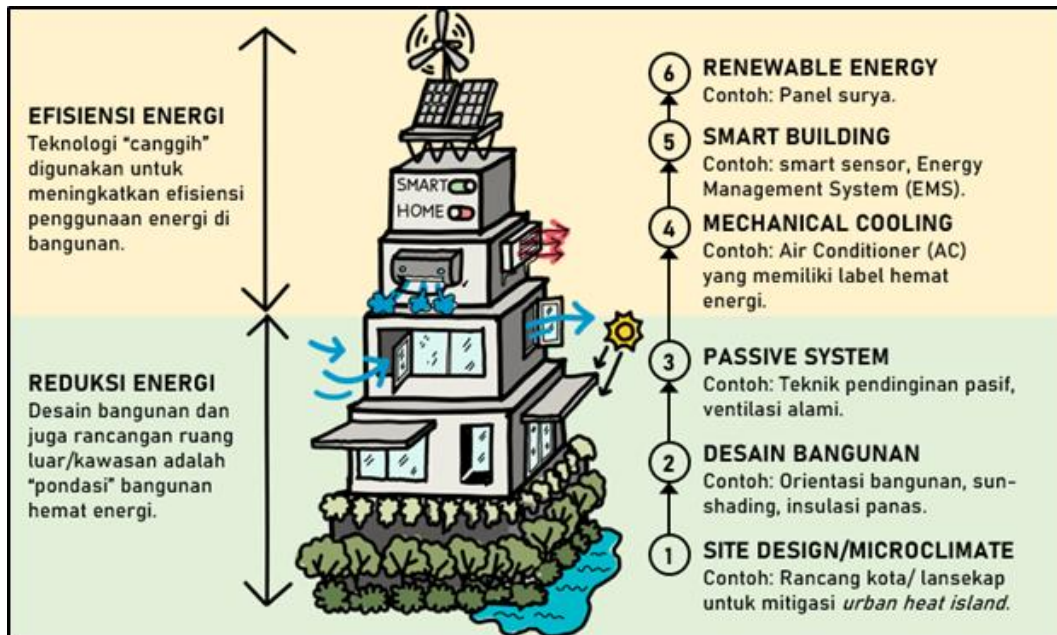
Abstrak

Potensi untuk mengurangi kelembapan udara dan polutan dalam ruangan untuk kualitas udara dalam ruangan (IAQ) dan toleransi kenyamanan termal dengan kecepatan angin dalam ruangan, menjadikan ventilasi alami solusi yang tepat untuk mencapai kualitas lingkungan dalam bangunan (*IEQ*) yang berkelanjutan di negara tropis, khususnya dalam mengurangi konsumsi energi pada bangunan. Pengadopsiannya secara tepat dalam aturan bangunan menjadi penting, terutama jalur pelaksanaan aturan (perskriptif dan performatif) dalam perwujudan bangunan berkelanjutan dan hemat energi (*avoid, shift, control*). Maka dari itu, studi mengenai aturan terkait ventilasi alami dilakukan di negara beriklim tropis, dan negara dengan daerah beriklim tropis sebagai pembanding. Ditemukan bahwa regulasi terkait *IEQ* yang mengadopsi ventilasi alami masih terbatas di besarnya bukaan, dimensi ruang dan arah angin yang bersifat perskriptif. Adapun parameter performa, khususnya untuk kenyamanan termal (*Adaptive comfort temperature*) dan *IAQ (ACH)* untuk ventilasi alami mulai diaplikasikan dan didetailkan berdasarkan kegiatan, namun masih terbatas.

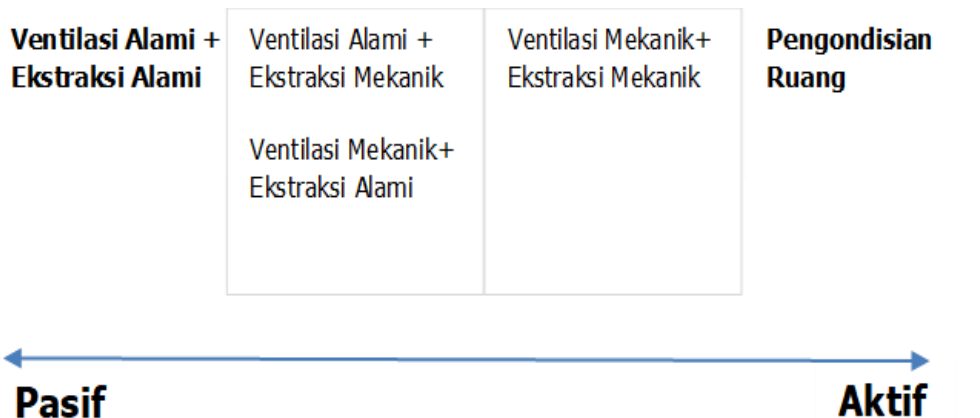
Kata-kunci : Bangunan berkelanjutan, regulasi, standar, tropis, ventilasi alami.

Pengantar

Pada negara tropis seperti negara-negara ASEAN, ventilasi alami memiliki potensi besar untuk pendinginan pasif dalam ruangan. Penerapannya secara efisien dapat mengurangi penggunaan pendingin udara mekanik hingga 40% (Programme for Energy Efficiency in Buildings, 2020). Pada perancangan bangunan berkelanjutan yang hemat energi, peran ventilasi sebagai strategi pasif untuk *IEQ* (IAQ dan kenyamanan termal) untuk penggunaan energi yang lebih efisien setelah sebelumnya merespon faktor eksternal bangunan untuk mengurangi potensi penerimaan panas berlebih (Lechner, 2015) yang diilustrasikan di Gambar 1. Prinsip sejenis direkomendasikan penerapannya dalam aturan wajib di negara ASEAN, yang menyebutkan bahwa pendinginan di bangunan hemat energi yang sesuai dengan iklim tropis perlu mengadopsi prinsip *avoid-shift-improve* atau hindari, ganti dan tingkatkan (Programme for Energy Efficiency in Buildings, 2020), dengan ventilasi alami yang berperan untuk menggantikan kebutuhan penghawaan ruangan (*shift*) dan meningkatkan efisiensi konsumsi energi dengan berdiri sendiri atau dikombinasikan dengan ventilasi mekanik (*hybrid*) sebagaimana terlihat pada spektrum penggunaan energi Gambar2.



Gambar 1. Gambaran strategi efisiensi energi pada bangunan berkelanjutan sesuai *three-tier-sustainability*
Sumber: Lechner, 2015



Gambar 2. Spektrum ventilasi pada bangunan berdasarkan besaran konsumsi energi
Sumber: Haslam, 2019

Namun begitu, ventilasi alami dianggap berhasil apabila penerapannya dapat mengurangi konsumsi energi dua hingga tiga kali lipat, memberi kenyamanan termal dalam ruang, meningkatkan kualitas udara dalam ruang serta mudah dan murah untuk perawatan dan biaya pengadaannya, untuk memastikan efisiensi ventilasi alami diperlukan adanya empat elemen (Haslam, 2019) dan metode penerapan aturan perskriptif dan performatifnya untuk aturan bangunan hemat energi di iklim panas dan lembab (Mudarri, 2010). Negara beriklim tropis seperti negara ASEAN, yang memiliki iklim sama dan kebijakan bersama, menarik untuk ditelusuri penyikapannya terhadap potensi ventilasi alami.

Penelitian ini dilakukan untuk meringkas dan memetakan aturan terkait ventilasi alami yang diberlakukan di negara beriklim tropis-khususnya di negara ASEAN, berikut faktor dan pendekatan yang diberlakukan masing-masing negara; perskriptif-maupun performatif. Bersinggungannya ventilasi alami dengan aspek lain pada bangunan seperti selubung, dan adanya potensi ketimpangan mauoun untung-rugi (*trade-off*) antar aspek lain di bangunan hemat energi, membuat rancangan menjadi lebih kompleks. Aturan yang bersifat perskriptif dimana potensi penghematan energi lebih sedikit, walaupun penyampaianya lebih mudah dicerna oleh pemangku kepentingan yang terlibat tidak lagi dirasa cukup. Namun, jalur kepatuhan performatif seringkali membutuhkan keterangan, keterampilan, dan penyajian visual yang lebih mendetail untuk kemudahan aplikasinya secara luas (Baeumle & Hunt, 2018). Hal ini meliputi ketentuan teknis pada selubung bangunan, ketentuan yang berkaitan dengan ventilasi alami, baik yang digerakkan oleh angin ataupun yang dipengaruhi perbedaan tekanan. Terakhir, performa ventilasi alami yang ingin dicapai dan keadaan lingkungan yang dianggap mendukung.

Metode

Pengumpulan Data

Aturan dan regulasi terkait bangunan hemat energi, bangunan hijau dan bangunan berkelanjutan yang ada di negara tropis di ASEAN dan negara dengan area beriklim tropis (Taiwan dan India) berdasarkan klasifikasi Koppen (Peel et al., 2007), sebagai pembanding. Sesuai rekomendasi *avoid, shift, improve for cool buildings* (Programme for Energy Efficiency in Buildings, 2020) terkait potensi ventilasi alami untuk penghematan energi, dilakukan komparasi aturan bangunan (*building code*), pedoman (*guidelines*) dan sertifikasi sukarela (*certification scheme*) untuk bangunan hemat energi di negara ASEAN Brunei, Filipina, Indonesia, Kamboja, Laos, Malaysia, Myanmar, Singapura, Thailand dan Vietnam.

Berdasarkan Gambar 4 dan Tabel 1, aturan terkait bangunan hemat energi yang akan dibahas lebih lanjut adalah aturan di Brunei, Filipina, India, Indonesia, Malaysia, Myanmar, Singapura, Taiwan, Thailand dan Vietnam berdasarkan kewajiban penerapan aturan terkait. Perlu dijadikan catatan bahwa Indonesia, Singapura dan India memiliki aturan tambahan terkait ventilasi alami di luar aturan untuk bangunan hemat energi.

Tabel 1. Penjabaran aspek ventilasi alami yang efisien berdasarkan studi literatur

	Perskriptif	Performatif
Mengurangi beban Kalor pendingin (Haslam, 2019)	Kaca pada dinding selubung Desain Jendela (WFR, WWR, Rasio Buka-an) (Mudarri, 2010) Desain Teduhan Kekedeapan udara pada Bangunan (Mudarri, 2010)	-
Peningkatan potensi ventilasi alami (Haslam, 2019)	Adaptasi terhadap Iklim dan lingkungan Orientasi Iklim Penerapan Berbagai Jenis Ventilasi Alami Digerakkan Angin [SV],[VS], Digerakkan oleh Perbedaan Tekanan dan [VSS], (Mudarri, 2010)	Kenyamanan Termal dalam Ruangan Kenyamanan Adaptif, Laju aliran angin (m/s) (Mudarri, 2010) IAQ Laju aliran udara (L/s) ,Pertukaran Udara di dalam Ruangan, Konsentrasi CO ₂ (Mudarri, 2010)
<i>Thermal mass</i> (Haslam, 2019)	Penggunaan material dengan insulasi tinggi dan menyimpan panas (<i>High Thermal Mass</i>) pada ruangan ber-AC dan <i>low thermal mass</i> pada ruangan berventilasi alami (Mudarri, 2010)	-

Dimensi bangunan (Haslam, 2019)	IAQ Luas Area, konfigurasi ruang dan letak bukaan (Mudarri, 2010)	-
------------------------------------	---	---

Sumber: Haslam, 2019; Mudarri, 2010

Tabel 2. Pemetaan regulasi bangunan hijau di negara tropis

		Brunei	Indonesia	Malaysia	Myanmar	Singapura	Thailand	Vietnam	Filipina	India	Taiwan
Otoritas Bangunan Hijau	Non-pem.	-	GREENSHIP	GBI	JADE	-	TREES, DGNB	LOTUS	BERDE	ICBC	-
	Pemerintah	BAGUS	SBH	MyCREST	-	GREEN MARK	TEEAM	-	-	-	EEWH
Residensial	Baru	•	•	•		•	•	•	•	•	•
	Eksisting	•	•			•	•	•	•	•	•
Non-Residensial	Baru	•	•	•		•	•	•	•	•	•
	Eksisting	•	•	•		•	•	•	•	•	•

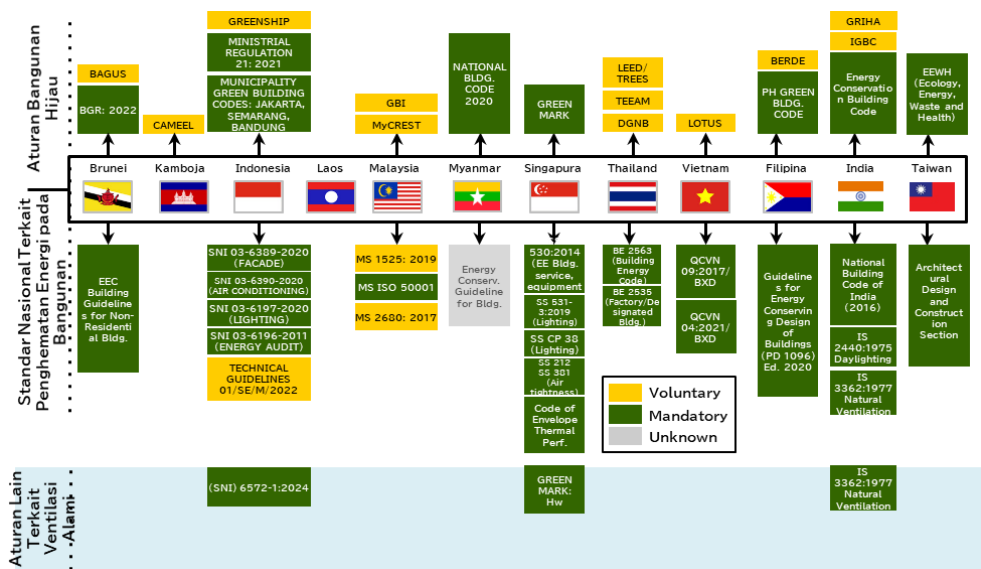
Sumber: Analisis penulis, 2024

Klasifikasi Data

Adapun analisis yang dilakukan akan didasarkan pada aspek ventilasi alami pada Tabel 1 sebagai berikut.

- Hierarki penerapan aturan untuk bangunan hemat energi (wajib atau sukarela)
- Adanya aturan terkait pengendalian panas dari selubung bangunan
- Jalur perskriptif yang berkaitan dengan elemen ventilasi alami (Luas bukaan, jenis jendela, orientasi dan lokasi jendela) dan rekomendasi khusus terhadap penggunaan sistem ventilasi alami pada masing-masing parameter IEQ.
- Adanya limitasi terkait penggunaan ventilasi alami dalam ruangan dan kombinasinya dengan ventalisasi mekanik.
- Penerapan jalur performatif yang digunakan untuk parameter IEQ.

Aturan terkait dimensi ruang, termasuk di dalamnya rasio jendela dan kedalaman ruang agar lebih mudah dianalisis, diaplikasikan di ruang sampel dengan dimensi 3 x 3 x 3 (m) untuk ukuran jendela dan ruang dengan ketinggian 3 m.



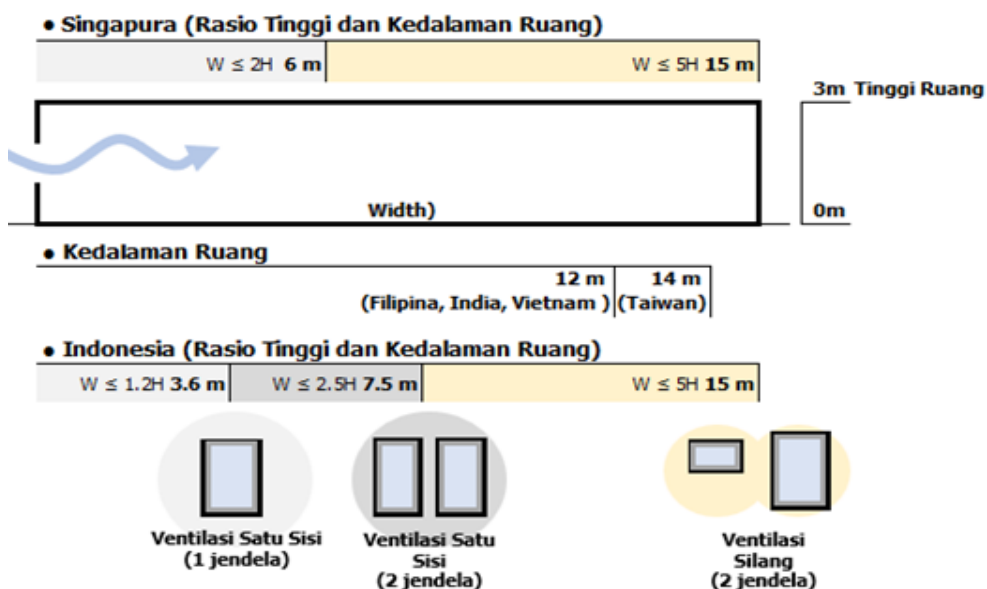
Gambar 3. Pemetaan regulasi (terkait bangunan hemat energi) dan aturan bangunan “hijau” di negara beriklim tropis di Asia Tenggara (ASEAN) dan negara dengan daerah beriklim tropis (Taiwan dan India).

Sumber: Olahan penulis, 2024

Hasil Analisis dan Pembahasan

Tipologi hanya mempengaruhi aturan ventilasi alami di Brunei, India, Indonesia dan Singapura. Mayoritas negara sampel – kecuali Myanmar mengurangi kalor melalui pengendalian dari selubung dengan pembatasan nilai perpindahan termal dari luar ruangan (OTTV / RTTV). Namun begitu, hanya India, Malaysia, Singapura, Taiwan dan Vietnam yang mewajibkan orientasi bangunan dengan merespon arah datangnya angin dan arah angin yang menghindari panas (utara-selatan di Singapura). Masa termal bangunan belum menjadi pertimbangan populer.

Pembatasan ventilasi alami dipengaruhi oleh suhu luar (Vietnam), rasio efisiensi ventilasi alami terhadap dimensi ruang (Taiwan), dan potensi strategi pasif lain, berupa pencahayaan alami sebagaimana ditekankan di Malaysia. Dalam meningkatkan Potensi Ventilasi Alami, penyesuaian aturan dengan tipologi ruang belum luas. Rekomendasi terkait lokasi dan posisi jendela dipengaruhi bagaimana ventilasi diberlakukan- dipengaruhi oleh angin seperti Ventilasi silang [VS] maupun Ventilasi Satu Sisi [VSS] maupun berdasarkan perbedaan tekanan (Stack Ventilation) [SV]. Hal ini juga mempengaruhi rekomendasi dimensi bukaan dan jendela minimum- di luar WWR dan WFR dan dimensi ruang sebagaimana terlihat pada variasi penetapan kedalaman ruang (Gambar 4).

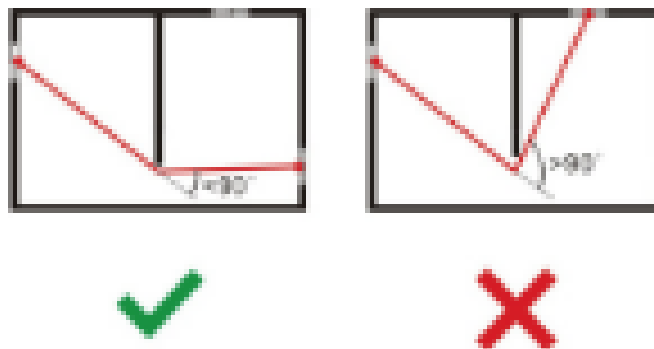


Gambar 4. Pemetaan regulasi (terkait bangunan hemat energi) dan aturan bangunan “hijau” di negara beriklim tropis di Asia Tenggara (ASEAN) dan negara dengan daerah beriklim tropis (Taiwan dan India).

Sumber: Olahan penulis, 2024

Pengaruh Jenis ventilasi terhadap dimensi ruang hanya direkomendasikan di Singapura dan Indonesia. Ventilasi alami satu sisi, dengan menggunakan metode rasio efisien untuk digunakan di kedalaman ruang di bawah 7,5 m. Sementara pada ketinggian 3 m, [VS] berlaku 15 m, hal ini lebih dari rekomendasi perskriptif yang banyak dipakai oleh negara lain yaitu 12 m. Aturan lain terkait elemen ini dapat dilihat dari penentuan ventilasi silang yang efisien di Taiwan yang menetapkan sudut dari

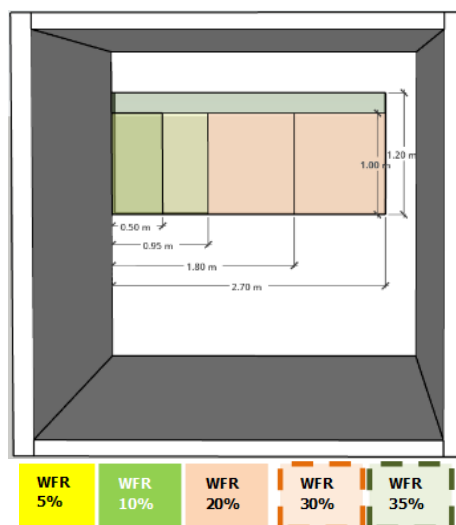
bidang vertikal dekat jarak ventilasi silang harus dibawah 90° dan nilainya tiga kali dari ventilasi satu sisi saat dihitung ke potensi ventilasi.



Gambar 5. Ventilasi silang yang efisien di Taiwan

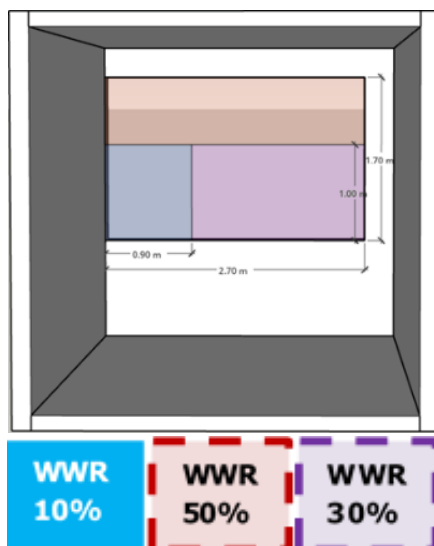
Sumber: Analisis penulis, 2025

Dimensi bangunan lebih umum diatur melalui luas bukaan minimum pada ruang yang dihuni secara konsisten diatur pada semua negara sampel dan pengaplikasiannya memiliki detail yang berbeda-beda. Rasio luas jendela terhadap dinding (WWR) secara berurutan dari rasio terbesar ke terkecil diberlakukan di Singapura, Indonesia dan Thailand. Sementara Rasio luas jendela terhadap lantai (WFR) secara berurutan luasannya digunakan di Myanmar, Vietnam, Taiwan, Brunei, Filipina. Namun begitu, hanya Myanmar yang mempertimbangkan dampak jenis jendela yang dapat dioperasikan secara lebih mendetail. Lebih lanjut, pembatasan bukaan berdasarkan WWR mempertimbangkan potensi panas dari masuknya cahaya matahari (*trade-off*).



Gambar 6. Ilustrasi cakupan luas area jendela berdasarkan perhitungan *WFR* di negara Vietnam, Taiwan, Myanmar (Minimum, 5% dan penggunaan jendela geser - Minimum 10%), Brunei, Filipina (Minimum, 10%), Taiwan (Minimum 5% - 35% Maksimum), dan India (Minimum 20% -Maksimum 30%)

Sumber: Olahan penulis, 2024



Gambar 7. Ilustrasi cakupan luas area jendela perhitungan WWR di negara Thailand (minimum 10%), Singapura (Maksimum 50%), dan Indonesia (Maksimum 30%)
 Sumber: Olahan penulis, 2024



Gambar 8. Rekomendasi luasan minimum jendela terhadap luas ruangan berdasar persamaannya dengan mempertimbangkan jenis ventilasi di Taiwan
 Sumber: Olahan penulis, 2024

Tabel 3. Rangkuman aturan terkait ventilasi alami

		Brunei	Filipina	India	Indonesia	Malaysia	Myanmar	Singapura	Taiwan	Thailand	Vietnam
Ventilasi	Selubung Bangunan	○	○	○	○	○		○	○	○	○
	Jendela & Bukaannya	●	● ^{2, 3} <i>Minimum</i>	●	● ^{1, 3} [VS],[VSS] (Intensitas ventilasi)	● ¹ [VS],[SV] (Posisi)	● ^{1, 3} [Jendela] (Bukaan efektif)	● ^{2, 3} (R): [VS] RK, Kamar Tidur	● ^{1, 3} [VS] <i>Minimum</i>	○	● ^{2, 3} <i>Minimum</i>
	Dimensi Ruang		●	●	● ¹ [VS],[VSS]	●	●	●	●		●
	ACH	○	○	○	● [*]		○	●	○	○	○
	Orientasi & Arah Bukaannya			● (Arah Angin datang)		● (Arah Angin datang)		● (Utara-Selatan)	● (Luar ruangan & ruang lain)		● (Arah Angin datang)
Kenyamanan Termal	Suhu dalam ruangan	●	●	●	○	●	○	●	○	○	○
	Kecepatan Angin	○	○	● ⁴	○	○	○	● ^{4*}	○		
	Lainnya							● (% Area berventilasi baik)	● (Potensi Ventilasi Alami)		● $T_{OutAV}^{30^{\circ}C}$

Sumber: Analisis penulis, 2024

○ Diatur dalam regulasi bangunan hemat energi.

● Aturan khusus untuk ventilasi alami.

※ Terdapat jalur kepatuhan dengan rekayasa (simulasi) performa bangunan.

¹ Aturan khusus untuk jenis jendela dan ventilasi tertentu (Silang [VS], Ventilasi Satu-sisi [VSS] dan stack ventilation [SV]).² Aturan khusus untuk ruang tertentu.³ Jendela yang dapat dioperasikan (&mudah diakses-Indonesia)⁴ Kombinasi dengan sistem mekanik.

Perhitungan dimensi bukaan berdasarkan WFR di Indonesia dan Taiwan mempertimbangkan terkait laju ventilasi alami, dan posisi vertikal antar bukaan selain jenis ventilasi (silang, satu sisi) seperti yang diberlakukan di Taiwan.

Tabel 2 di atas menampilkan rangkuman aturan yang terdapat pada lampiran (Tabel 4, 5, 6). Menjelaskan lebih lanjut bagaimana elemen-elemen yang dapat mempengaruhi efisiensi ventilasi alami direpresentasikan dalam aturan. Kombinasi dengan sistem mekanik di negara sampel dapat dilakukan dengan dua jalur, yakni perskriptif (saat rata-rata suhu luar ruangan tertinggi dalam satu tahun lebih tinggi dari 30°C seperti di Vietnam), dan secara performa (kecepatan angin yang diperlukan sesuai suhu dalam ruangan yang diberlakukan di India dan Singapura).

Secara performa, kenyamanan termal untuk bangunan dengan ventilasi alami diatur di Brunei, Filipina, Malaysia, dan menggunakan *adaptive comfort* dari ASHRAE. Perbedaan terlihat di Singapura dan India. Di India dan Singapura yang kebijakan lebih mendetail terkait toleransi suhu yang nyaman dan kecepatan angin yang dibutuhkan. Meskipun India menerapkan metode penghitungan tersendiri (*operative temperature* di India), jalur kepatuhan khusus untuk kenyamanan termal dari ventilasi alami terkait kenyamanan termal hanya diberlakukan di Singapura dengan menilai % area yang memiliki kecepatan angin yang dianggap baik-0.4 m/s. Untuk IAQ ventilasi mekanik tidak diperlukan apabila ACH ataupun jumlah polutan dalam ruangan. Dalam ruangan memenuhi ketentuan yang berlaku seperti di Indonesia dan Singapura. Namun begitu, terdapat aturan yang harus dipenuhi terlebih dahulu sebelum jalur kepatuhan khusus (performa atau ventilasi alami di Indonesia) diambil.

Kesimpulan

Ventilasi alami belum menjadi metode yang populer pada bangunan hemat energi di negara-negara beriklim tropis. Dari elemen ventilasi alami yang efisien, walaupun penerapannya terfragmentasi, hanya penentuan masa termal bangunan yang belum diadopsi. Metode penentuan bukaan dan dimensi bangunan untuk ventilasi dapat dikembangkan sesuai jenis ventilasi, jenis jendela maupun tipologi bangunan untuk penerapan aturan perskriptif, dan dapat disertai aturan *pre-requisite*.

Kesempatan untuk mengembangkan aturan performa dapat memper peran ventilasi alami untuk kualitas udara dalam ruangan (ACH sebagai parameter), maupun sebagai metode pasif untuk pendinginan alami (pemenuhan kecepatan angin dan suhu untuk kenyamanan termal dalam ruangan) sesuai masing-masing tipologi bangunan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, direkomendasikan aturan terkait ventilasi alami di negara tropis untuk bangunan hemat energi dapat dikembangkan dengan melakukan langkah sebagai berikut:

- Memperkuat aturan terkait ventilasi alami: Menggalakkan penerapan desain yang responsif pada iklim dan prioritas pengadopsian ventilasi alami sebagai strategi pasif dalam pendinginan ruang dan mencapai kualitas udara dalam ruangan, serta pemberian insentif finansial (contohnya, pemotongan pajak).
- Mempermudah aplikasi ventilasi alami: Penyusunan aturan yang sederhana serta mudah diaplikasikan oleh pemangku kepentingan (Arsitek), serta penyediaan data dan jalur performa yang dapat mendukung pemodelan performa ventilasi alami pada bangunan sehingga aturan menjadi lebih fleksibel dan timbul lebih banyak solusi kreatif terkait pengapikasian ventilasi alami.
- Pengembangan kapasitas: Pelatihan dan lokakarya yang melibatkan pemangku kebijakan, arsitek, insinyur dan pelajar untuk meningkatkan kesadaran atas pentingnya ventilasi alami dalam ruangan
- Pengawasan, penelitian dan pengembangan bersama: Melanjutkan penelitian terkait topik ventilasi alami yang dilakukan bersama dengan negara lain khususnya yang beriklim sama (tropis).

Untuk mendalami dan memastikan penerapan ventilasi alami dalam perwujudan bangunan berkelanjutan dan hemat energi, dibutuhkan adanya penelitian lebih lanjut pada area berikut:

- Evaluasi performa jangka panjang: Verifikasi terkait dampak jangka panjang ventilasi alami terkait kenyamanan termal, konsumsi energi, IAQ, dan kemudahan operasional.
- Analisa dampak regulasi: Evaluasi jalur pengaplikasian aturan (perskriptif-performatif) dan hierarkinya (wajib-sukarela) terhadap tujuan penerapan ventilasi alami (penghematan energi, kualitas udara dalam ruangan).

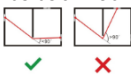
Daftar Pustaka

- Baeumle, R., & Hunt, G. R. (2018). Capturing the needs of architects: a survey of their current information requirements for natural ventilation design. *International Journal of Ventilation*, 17(2). <https://doi.org/10.1080/14733315.2017.1351737>
- Haslam, M. P. G. (2019). *Idea, Form, Reality – the Implications of Natural Ventilation Strategies on public Buildings in Temperate Maritime Climates* [Tesis]. Technological University Dublin.
- Lechner, N. (2015). Heating, Cooling, Lighting - Sustainable Design Methods for Architects. In *Wiley* (Vol. 1999, Issue December).
- Mudarri, D. H. (2010). Building Codes and Indoor Air Quality. *Report: Prepared for: U.S. Environmental Protection Agency Office of Radiation and Indoor Air Indoor Environments Division*.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5). <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Programme for Energy Efficiency in Buildings. (2020). *Better design for cool buildings*. Programme for Energy Efficiency in Buildings (PEEB) Secretariat. <https://www.preventionweb.net/quick/50657>

Lampiran

Tabel 4. Syarat dimensi ruang untuk ventilasi alami dan kekedapan udara pada bangunan

	Dimensi (m)		Syarat Lain	Kekedapan Udara	
	Tinggi Ruang	Kedalaman Ruang		m ³ /h.m ²	Ketentuan Lain
Brunei	-	-			Selubung bangunan mendapat perlakuan khusus untuk menjaga kekedapan udara dan cuaca
Filipina	-	9-12m	[Ventilasi Silang] Jarak Antar bukaan tergantung pada tipologi	Toleransi pada celah <2.7 m ³ /h/m <61.2 m ³ /h/m	[Jenis Bukaan] Jendela Pintu Ayun & geser
India	-	>12m	[Ventilasi Silang] Area bukaan 0.4 m ²	Toleransi pada celah <2 m ³ /h.m ² <2 m ³ /h.m ² <1.7 m ³ /h.m ²	[Jenis Celah] Kebocoran Udara Panel yang dioperasikan Jendela Mati
Indonesia	Rasio W ^(Kedalaman Ruang)	H ^(Tinggi Ruang)	[Jenis Ventilasi]		
	W ≤ 1.2H	Dalam Ruangan	[Ventilasi Satu Sisi]	-	
	W ≤ 2.5H	Dalam Ruangan	[Ventilasi Satu Sisi, bukaan >1]		
	W ≤ 5H	Dalam Ruangan	[Ventilasi Silang]		
Malaysia	-	-		-	
Myanmar	-	-		-	
Singapura	Rasio W ^(Kedalaman Ruang) terhadap H ^(Tinggi Ruang)		[Jenis Ventilasi]		Mengikuti aturan tambahan: SS 212 – Specification for Al. Window SS 381 – Materials and Perf. Test for Al. CW
	W ≤ 2H	Dalam Ruangan	[Ventilasi Satu Sisi]		
	W ≤ 3H	Tempat Berkumpul	[Ventilasi Satu Sisi]		
	W ≤ 5H	Dalam Ruangan	[Ventilasi Silang]		
	W ≤ 7.5H	Tempat Berkumpul	[Ventilasi Silang]		
Taiwan	-	<14m	[Ventilasi Silang]	<2 m ³ /h.m ²	Kebocoran udara
Thailand	-	-		-	
Vietnam	-	-	[Ventilasi Silang] Posisi bukaan pada denah berbelok <90°	-	
					

Sumber: Analisis penulis, 2025

¹ 50% luas bukaan tidak terhalangi

² Jendela harus dapat dioperasikan

³ Jendela harus dilengkapi safety stop

※ Ventilasi alami/ mekanik (terdapat sensor CO₂ untuk ventilasi mekanik)

• Rasio luas jendela terhadap tembok (WWR)

• Rasio luas jendela terhadap lantai (WFR)

Tabel 6. Performa termal dalam ruang dan performa ventilasi alami

	Potensi VA	RH (%) Dalam Ruang	Temperatur (C)		Kecepatan Angin (m/s)		ACH
			Koridor	Dalam Ruang	Dalam Ruang	Ketentuan Lain	
Brunei	-	>75	-	23 °C +1 °C (min. 22 °C)	*	MV <0.41 (1.5m di atas lantai)	4-6 D: 20

Filipina	-	-	-	25 °C ± 2°C	-	2	D:	4-6 20
India	-	-	-	25-30 ^{Tdb} Top VA ³ : (0.54xT ^{out})+ 12.83 Top MM ³ : (0.54xT ^{out})+ 12.83 27.5 ^{Top} 29 30 31	0.19 0.85 2.1 ²		KT: KM: S ^{Tangga} : RK:	2-4 6-10 5-10 3-6
Indonesia	-	55	27	25	0.15 m/s ~ 0.25 m/s		D:	4-6 20
Malaysia	-	50-70	33.3 (outdoor)	24 °C ~ 26°C; Min. 23°C	MV 0.15 ~ 0.50, Max. 0.70			
Myanmar	-	<65		24 °C ± 1°C	<0.3		D:	4-6 20
Singapur a	-	-	-	-	≤0.4-0.6	>0.4 ²	ACH ^{EF} :	4-10 >1.2
Taiwan	>0.05 ¹	-	-	-			D:	5
Thailand	-	-		ASHRAE-55			KM: F&B, Hotel, Kantor: D:	2 7 12
Vietnam	< 30°C T _{MaxAv}	-		24 ~ 26 °C			D:5	

Sumber: Analisis penulis, 2024

VA: Ventilasi Alami, RH: Kelembapan Udara, ACH: Laju pertukaran udara (per jam), MV: Ventilasi mekanik

Tabel 7. Tabel lokasi dan luas jendela

	Lokasi Jendela			Arah Buka	Metode	Luas Jendela						
	Posisi	Orientasi	Sill (h)			R	K	Se	RS	KM	Si	P
Brunei	-	-	-	Ke luar bangunan, <i>airwell</i>	(%) WFR & WWR*	>10 ¹	>10 ¹	>20 ¹	>20 ¹	>10 ¹	>10 ¹	>20*
Filipina	-	-	-	Ke luar bangunan, <i>airwell</i>	(%) WFR ^{2,3} Minim um ³ 0.4 m ²	All 10 (Kedalaman ruangan 12m)						
India	-	Arah Angin toleransi (0°-30°)	-	-	WFR (%)	20-30 (Semua ruangan)						
Indonesia	-	-	-	Ke luar bangunan, <i>airwell</i> , ruang lain	WWR (%)	All	Bangunan 1 lt.			>1 lt.		P
						<30	>5			>10		-
					(Berdasar perbedaan tinggi [VS] dan rasio bukaan [VSS])							
					Rasio WFR (Intensitas Ventilasi)	0.6 (<i>h</i> ≥5 <i>m</i>) , 1.3 (<i>h</i> <2.5 <i>m</i>)						
	[VS] VSS											
Malaysia				(Optimal view, DF dan ventilasi)	(%) WFR	15 - 25						
	[VS]	Bersebelahan /bersebrangan	Arah Angin	DF & view	[VS] I/O	Luas <i>Outlet</i> > Luas <i>Inlet</i>						
	[SV]	1 dekat lantai, 1 lebih tinggi	-	-	[SV] DF	>30% <i>NLA</i> memiliki DF 1.0-3.5%.						
Myanmar	-	-	-		WFR ³ (%)	>5 (Semua ruangan)						

					WWR (%)		Maksimum 40%		
					Area bukaan Efektif (%)		<i>SL</i>	<i>Louver</i>	<i>CAS</i> (Bukaan >30°)
							50	50	50
Singapura	Utara & Selatan			Ke luar bangunan, <i>airwell</i>	WWR (%)	R	Non-Residensial		P
						<30	(SC <0.7)	5-40	*
						<40	(SC <0.5)		
						<50	(SC <0.43)		
					% Area Ventilated	70%	50%		
					Wajib pada ruang keluarga dan kamar tidur				
Taiwan	-	-	> 1 m	Ruang terbuka & ruang lain	Minimum	[VS]	1m ²	(Tetap terbuka)	
					WWR (%)	R	Non-Residential		
					<35				
Thailand	-	-	-	Ke luar bangunan	WWR (%)	>10	Luas area kaca lebih < luas area tembok pada selubung		
					DF	>2%			
Vietnam	Arah Angin			> 1.4 m	Ke luar bangunan	WFR ³ (%)	• Di daerah dengan suhu rata-rata maximum <30°C		
				>5		• Wajib pada area sirkulasi (Lobby, tangga, koridor)			
				Minimum ³		0.6mx 0.6 m	(Bangunan apartment)		
	[VS]	Outlet diatas inlet	Outlet di leeward	I/O		• Luas Outlet > Luas Inlet			
					• Wajib pada ruang keluarga dan kamar tidur				

Sumber: Analisis penulis, 2024

R: Residensial, K: Komersial, Se: Sekolah, RS: Rumah Sakit, KM: Kamar Mandi, Si: Sirkulasi (Lobi, tangga, koridor), P: Parkir Kendaraan Bermotor, [VS]: Ventilasi Silang, [SV]: *Stack Ventilation*, I/O: Inlet/Outlet, DF: *Daylight Factor*, SC: *Shading Coefficient*, SL: Jendela Geser, *Louver*: Jendela Nako, CAS: Jendela Kesmen, NLA: *Net Lettable Area*