



WWR OPTIMIZATION FOR VENTILATION AND ENVIRONMENTAL NOISE CONTROL OF TROPICAL DWELLING

OPTIMASI WWR UNTUK PENGHAWAAN DAN PENGENDALIAN KEBISINGAN LINGKUNGAN PADA HUNIAN TROPIS

FX Teddy Badai Samodra ^{1*}

Departemen Arsitektur, Fakultas Arsitektur, Desain, dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember^{1*}
fxteddybs@arch.its.ac.id; fxteddybs@gmail.com

Abstract

In an urban environment, heat and noise are the most important factors affecting the environment in buildings. This study optimizes the WWR (Window to Wall Ratio) as a compromise of the ventilation design and noise control for the Javanese architecture which is the case study of Eco-tropical built environment. The need for openings area has a contradictory behavior between providing the maximum aperture requirements for the wind flow and the minimum aperture area to reduce environmental noise. The location of this study is in the lowland (Surabaya, 0-50 m above mean sea level) and in the highland (Malang, 440-667 m above mean sea level) as the representatives of the tropical environment. Both cities were chosen because of their cultural and architectural similarities. The results of this study indicate that the WWR range of integration of ventilation design needs and noise control are for lowland / daytime is 0.13-100% (survey standard), 0.13-5.24% (WHO standard); for lowland / night is 0-100% (survey standard) and 0-3.24% (WHO standard). Meanwhile, for highland / daytime, the requirement is 0.24-100% (survey standard) and 0.24-70.48% (WHO standard); and for highland / night is 0-100% (for both WHO standard and survey criteria).

Keywords: noise control, ventilation, tropical dwelling, warm humid climate

1. PENGANTAR

Standar lingkungan dalam bangunan menentukan faktor lingkungan yang berbeda, seperti termal, kualitas udara dalam ruangan, aural, dan visual (Huang *et al*, 2012). Dalam lingkungan perkotaan, termal dan kebisingan secara bersamaan mempengaruhi lingkungan dalam bangunan (Lai *et al*, 2009). WWR (*Window to Wall Ratio*) merupakan aspek penting dalam pembahasan mengenai pengendalian kebisingan (De Salis, *at al*, 2002).

Indonesia adalah sebuah daerah "cincin api". Hal itu terbukti dengan banyaknya gunung berapi yang mempengaruhi pola topografi yang terdiri atas dataran rendah dan dataran tinggi. Perbedaan ketinggian geografis sebagai representasi lingkungan tropis lembab, tidak

hanya menyebabkan variasi iklim dan lingkungan yang berpengaruh pada upaya perbaikan termal akibat perbedaan lingkungan, tetapi juga mempengaruhi perbedaan pertumbuhan kota. Hal ini terjadi karena biasanya kota di dataran rendah (lowland) tumbuh lebih cepat daripada kota di dataran tinggi (highland). Kondisi tersebut memiliki konsekuensi tidak hanya terhadap variasi penyebaran kebisingan dari luar ke dalam bangunan, tetapi juga adaptasi penghuni dan rancangan arsitekturalnya (Samodra, 2017).

Di lingkungan tropis perkotaan, material dan WWR menjadi elemen selubung bangunan yang memegang peranan yang penting. Dengan perilaku yang bertentangan antara merancang penghawaan dan mengendalikan kebisingan, maka penelitian ini melakukan studi optimasi

WWR sebagai integrasi solusi untuk kedua isu tersebut.

2. METODE

Penelitian ini memaparkan ide perbaikan lingkungan termal serta kebisingan bangunan dengan menelaah optimasi dan pengendalian terpadu pada kinerja termal dan kebisingan lingkungan. Secara detail, studi tentang kajian kompromi kebutuhan penghawaan dan pengendalian kebisingan dilakukan dengan rumah Jawa sebagai studi kasus dari hunian tropis lembab. Seperti ditunjukkan oleh gambar 1, lokasi penelitian berada di dataran rendah (Surabaya, 0-50 m msl) dan di dataran tinggi (Malang, 440-667 m msl). Surabaya dan Malang merupakan dua kota terbesar di Provinsi Jawa Timur. Kedua kota ini dipilih karena memiliki kemiripan budaya dan arsitektur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian, Sumber: Ilustrasi Penulis, 2018.

Seperti rumah tradisional di daerah tropis lembab pada umumnya, rumah tradisional Jawa (tipe kampung), pada awalnya dirancang untuk kondisi perdesaan yang masih terbuka. Namun, kondisi sekarang ini tumbuh di lingkungan padat perkotaan dengan banyak yang masih

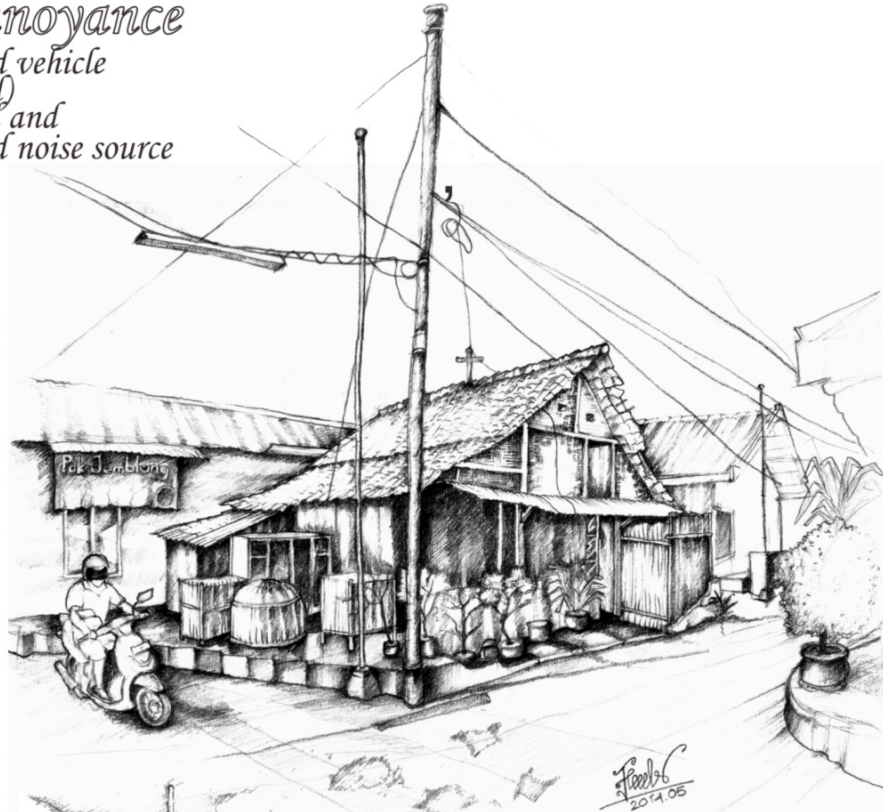
mempertahankan ukuran dan material bangunan (gambar 2). Baik untuk dataran rendah maupun dataran tinggi, hunian memiliki luas ukuran bangunan rata-rata $6 \times 7 \text{ m}^2$ (gambar 3). Bangunan tersebut memiliki penggunaan material bangunan yang bervariasi tergantung faktor lokasi dan waktu. Namun, secara umum didominasi oleh penggunaan dinding kayu (*thermal dan acoustical properties*: $U\text{-value} = 3.19 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_{\text{lag}} = 0.3 \text{ hour}$, $W = 24.8 \text{ kg/m}^2$, $t = 30 \text{ mm}$, Transmission Loss in average: $TL_{\text{wood}} = 18 \text{ dB}$).

Berbeda dengan analisis material yang komplemen antara kebutuhan pengendalian panas dan kebisingan, kebutuhan luas bukaan memiliki perilaku yang kontradiktif; Penyelesaian arsitektural yang berlawanan antara kebutuhan menyediakan bukaan yang maksimal untuk aliran angin dan bukaan yang minimum untuk mengurangi kebisingan dari lingkungan. Kebutuhan luas bukaan ditentukan oleh WWR yang dihitung dari perbandingan luas bukaan (lobang) dan luas keseluruhan dinding parentalnya. Metode analisis WWR ini mempertimbangkan jarak sumber bunyi ke penerima sebagai faktor penting (gambar 4).

SNI 03-6386-2000 menetapkan kriteria desain kondisi akustik di dalam ruang hunian. Sementara, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996 merekomendasikan Tingkat Kebisingan untuk kawasan perumahan dan permukiman adalah 55 dBA. Peraturan tersebut tidak memberikan rekomendasi yang membedakan standar untuk waktu siang atau malam hari. Samodra (2016) menunjukkan bahwa berdasarkan hasil survei, batas kebisingan lingkungan, baik dari sumber dalam maupun dari luar bangunan, untuk siang hari di dataran rendah ditetapkan 49.9 dBA dan untuk dataran tinggi 47.8 dBA. Batas kebisingan malam hari untuk dataran rendah dan dataran tinggi, masing-masing 45.9 dBA dan 40.0 dBA. Sementara itu, *World Health Organization* (WHO) merekomendasikan batas maksimum untuk kebisingan siang hari adalah 35.0 dBA dan malam hari adalah 30.0 dBA untuk hunian (Berglund *et al*, 2000). Kedua kriteria di atas menjadi pedoman dalam penentuan optimasi: Berdasarkan hasil survei atau standar survei dan berdasarkan rekomendasi atau standar WHO.

noise annoyance

*not crowded vehicle
(of highland)
but shocked and
uncontrolled noise source*



*high density
environment*

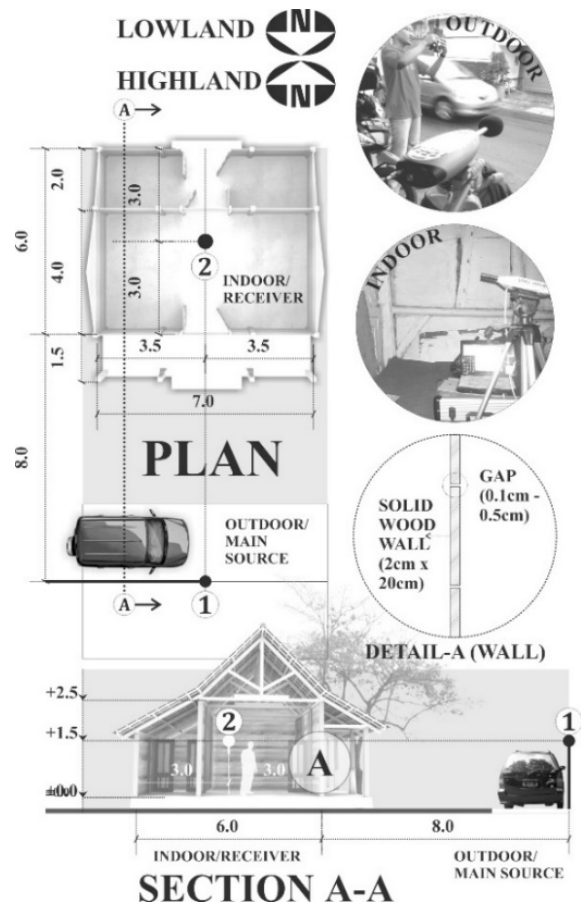
*limiting opportunity
for horizontal ventilation*



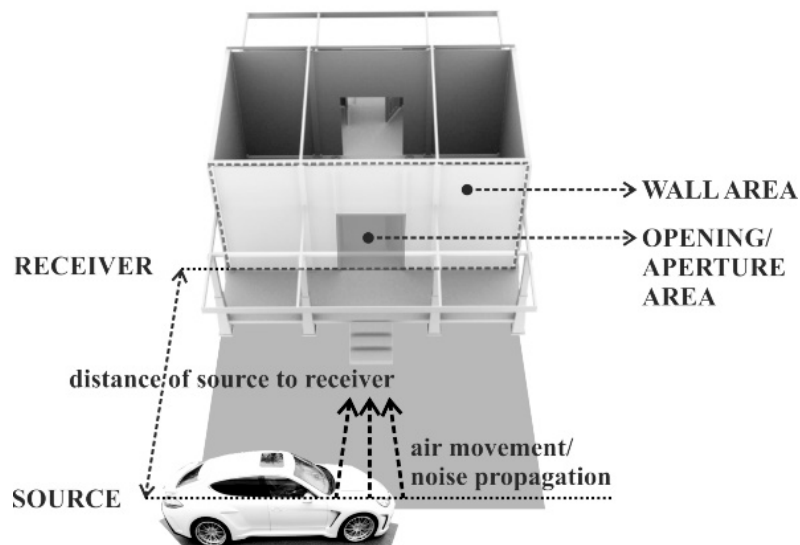
Gambar 2. Kondisi Lingkungan Rumah Jawa,
Sumber: Survei Lapangan, Malang dan Ilustrasi Penulis, 2014-2018.

Dalam penelitian ini, metode evaluasi matematik dilakukan untuk mencapai standar dari hasil survei dan WHO terkait integrasi kedua aspek, penghawaan dan kebisingan. Secara umum metode perhitungan dijelaskan berdasarkan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Perhitungan minimum debit aliran angin (*flow rate*) yang diperlukan untuk penghawaan (persamaan 1).
2. Penentuan luas minimum bukaan dan WWR untuk penghawaan dengan pertimbangan pendinginan fisiologis untuk dataran rendah dan tinggi, untuk siang dan malam hari (persamaan 2).
3. Perhitungan efektivitas pengendalian bising (SRI index) yang mempertimbangkan koefisien serap bunyi dari material dan bukaan serta luasannya (persamaan 3).
4. Perhitungan luas bukaan maksimum untuk pengendalian bising dengan mempertimbangkan jarak kritis (minimum yang diperkenankan) sumber kebisingan utama ke penerima bunyi.



Gambar 3. Profil Bangunan,
Sumber: Ilustrasi Penulis, 2016.



Gambar 4. Metode Analisis Windows to Wall Ratio (WWR),
Sumber: Ilustrasi Penulis, 2016.

3. HASIL PEMBAHASAN

Berdasarkan SNI 03-6572-2001 dan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 441/KPTS/1998, kebutuhan minimum penghawaan alami bangunan minimum 5% dari luas lantai. Sementara, kebutuhan aliran angin menurut *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004*, setiap penghuni membutuhkan 7.5 *cubic feet per minute* (CFM) dan bangunan membutuhkan 3 CFM setiap 100 *square feet*. Seperti diilustrasikan oleh persamaan 1, dengan rata-rata jumlah penghuni 5 orang, minimum aliran angin yang diperlukan untuk bangunan adalah $51.1 \text{ ft}^3/\text{m} = 0.024 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q = (7.5.N_p) + (3.A/100) \dots \dots \dots [1]$$

Kecepatan angin minimum untuk pendinginan fisiologis berdasarkan penelitian sebelumnya adalah 1.5 m/s untuk daerah dataran rendah dan 0.8 m/s dataran tinggi (Samodra, 2016). Kedua data kecepatan angin tersebut untuk kondisi siang hari (daytime). Sedangkan malam hari (night-time) tidak diperlukan pendinginan fisiologis karena memiliki temperatur yang lebih rendah. Dengan persamaan 2 dan $Q = 0.024 \text{ m}^3/\text{s}$, luas minimum bukaan untuk penghawaan = $A_A = 0.03 \text{ m}^2$ (WWR=0.13%) dan 0.05 m^2 (WWR=0.24%), masing-masing untuk dataran rendah dan dataran tinggi.

$$Q = E.A_A.V \dots \dots \dots [2]$$

Untuk efektivitas pengendalian kebisingan lingkungan, analisis *SRI index* dari material bangunan (dinding) dan bukaan perlu diterapkan dengan pertimbangan luas masing-masing permukaannya (persamaan 3).

$$SRI_{W+A} = -10 \log \left[\frac{A_W \cdot 10^{\left(\frac{-SRI_W}{10}\right)} + A_A \cdot 10^{\left(\frac{-SRI_A}{10}\right)}}{(A_W + A_A)} \right] [3]$$

(opened aperture, $SRI_W=0$).
sumber: De Salis, *at al* (2002)

Tabel 1 merangkum hasil perhitungan optimasi WWR. Dalam variasi jarak, terdapat perbedaan kriteria untuk integrasi perbaikan termal dan penyebaran kebisingan. Karena kondisi temperatur yang lebih tinggi dibanding malam hari, penghawaan untuk pendinginan fisiologis hanya diperlukan ketika siang hari. Minimum WWR adalah 0.13% dan 0.24% masing-masing untuk dataran rendah dan dataran tinggi.

Seperti yang juga ditunjukkan oleh gambar 5, untuk batas kebisingan berdasarkan survei, di semua lokasi dan waktu, tidak ada batas maksimum WWR untuk pengendalian kebisingan, diindikasikan dengan nilai WWR = 100%. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan bangunan cukup bebas dalam menyediakan bukaan yang terbuka lebar meskipun dengan jarak sumber bunyi yang dekat dengan penerima. Terdapat ketentuan di mana WWR harus 0% (tidak diperkenankan adanya bukaan) dengan jarak yang sangat minimum. Hal ini jarang terjadi dalam kondisi nyata di lapangan, karena jarak sumber ke penerima bunyi dihasilkan tidak lebih dari 1 m.

Dengan persyaratan yang lebih terbatas, toleransi kebisingan dari WHO merekomendasikan bahwa bangunan di daerah dataran tinggi tidak memiliki kriteria khusus seperti halnya untuk dataran rendah (gambar 6). Hal ini terjadi karena di dataran tinggi memiliki tingkat kebisingan yang lebih rendah. Rentang kriteria tersebut akan berbeda menurut standar, tempat, dan waktu.

Faktor jarak dari sumber kebisingan juga dipertimbangkan dalam penelitian ini, khususnya terkait dengan pengaruh terhadap bukaan. Jarak kritis untuk bukaan yang tertutup (WWR = 0% untuk pengendalian kebisingan) adalah 3.95 m, 4.65 m, 1.56 m, dan 0.91 m masing-masing untuk dataran rendah/siang hari, dataran rendah/malam hari, dataran tinggi/siang hari, dan dataran tinggi/malam hari. Sementara itu, jarak aman dengan penggunaan bukaan untuk WWR 100% adalah 22.1 m, 25.9 m, 8.8 m, dan 5.15 m, masing-masing untuk dataran rendah/siang hari, dataran rendah/malam hari, dataran tinggi/siang hari, dan dataran tinggi/malam hari.

Tabel 1. Hasil Optimasi Kebutuhan WWR untuk Penghawaan dan Pengendalian Kebisingan dalam Variasi Jarak Sumber ke Penerima Bunyi

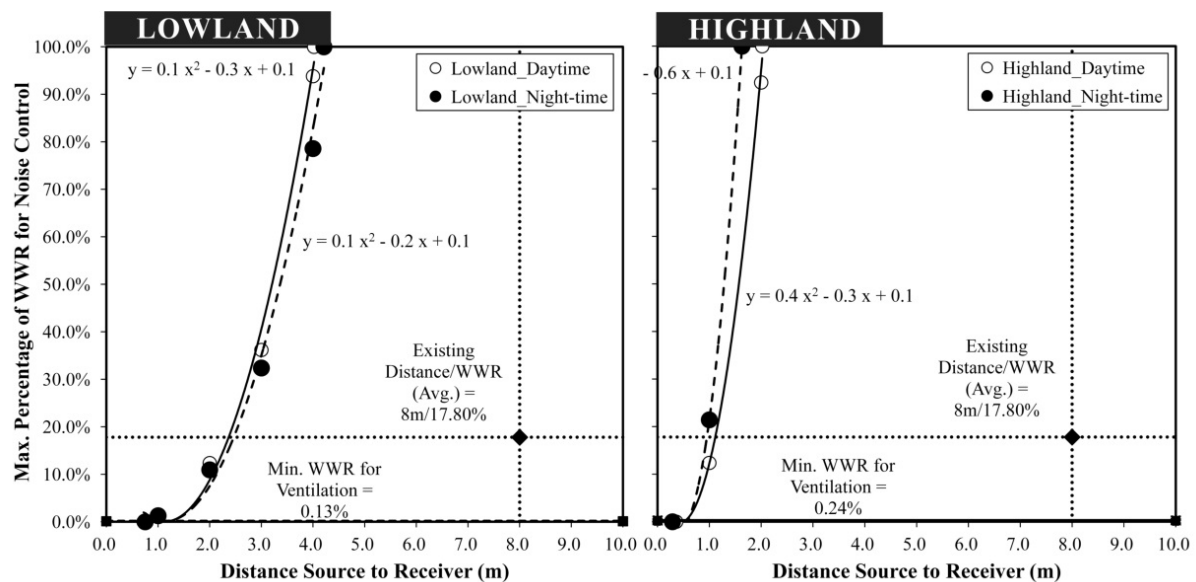
Location/ Time	Distance (m)	WWR Requirement			
		Field Study Limits		WHO Standard	
		Minimum for Thermal Improvement	Maximum for Noise Improvement	Minimum for Thermal Improvement	Maximum for Noise Improvement
Lowland/ Daytime	8*	0.13%	100%	0.13%	5.24%
	0.72	0.13%	0%**	-	-
	4.02	0.13%	100%***	-	-
	3.95	-	-	0.13%	0%**
	22.1	-	-	0.13%	100%***
Lowland/ Night-time	8*	0%****	100%	0%****	3.24%
	0.75	0%	0%**	-	-
	4.21	0%	100%***	-	-
	4.65	-	-	0%	0%**
	25.9	-	-	0%	100%***
Highland/ Daytime	8*	0.24%	100%	0.24%	70.48%**
	0.36	0.24%	0%**	-	-
	2.02	0.24%	100%***	-	-
	1.56	-	-	0.24%	0%**
	8.8	-	-	0.24%	100%***
Highland/ Night-time	8*	0%****	100%	0%****	100%**
	0.29	0%	0%**	-	-
	1.63	0%	100%***	-	-
	0.91	-	-	0%	0%**
	5.15	-	-	0%	100%***

*) existing in average distance

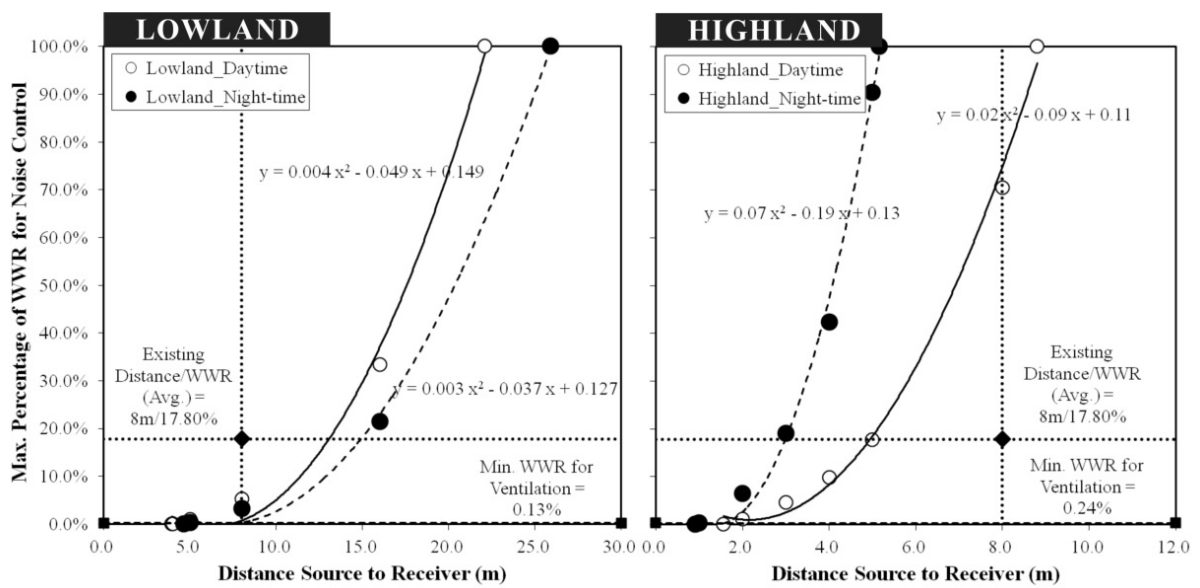
**) no aperture (totally closed) requirement by minimum distance

***) totally opened aperture requirement by minimum distance

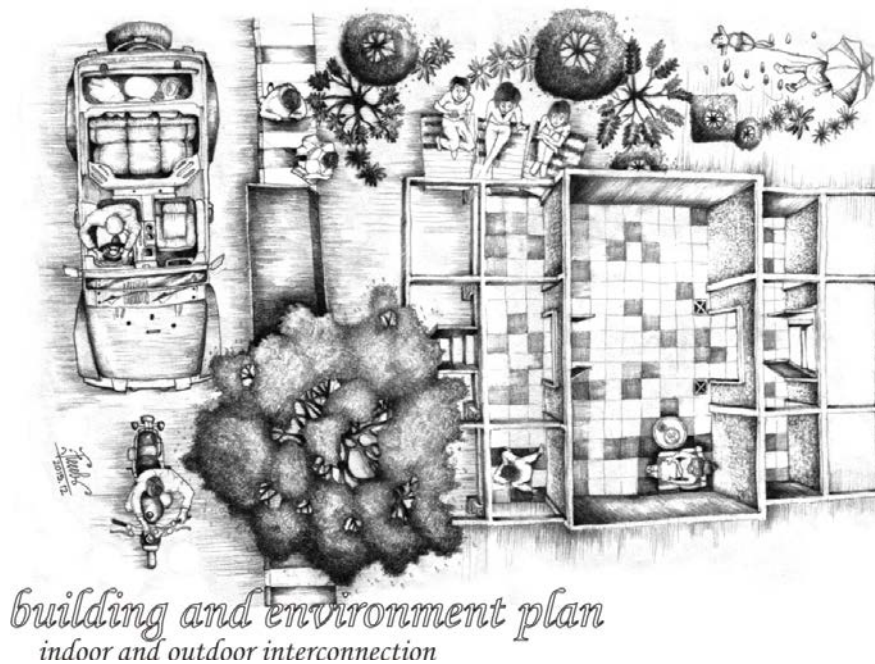
****) no need aperture for night-time



Gambar 5. Optimasi WWR untuk Penghawaan (Pendinginan Fisiologis) dan Pengendalian Kebisingan Berdasarkan Batas Kebisingan Hasil Survei.



Gambar 6. Optimasi WWR untuk Penghawaan (Pendinginan Fisiologis) dan Pengendalian Kebisingan Berdasarkan Batas Kebisingan WHO.



Gambar 7. Gagasan Integrasi WWR, Penghalang kebisingan, dan Material dalam Koneksi Ruang Luar sebagai Sumber dan Bangunan dan Penghuni sebagai Penerima.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis di atas, kebutuhan WWR untuk pemenuhan kebutuhan penghawaan bangunan dan pengendalian penyebaran

kebisingan, yaitu dataran rendah/siang hari: 0.13-100% (standar survei), 0.13-5.24% (standar WHO); dataran rendah/malam hari: 0-100% (standar survei), 0-3.24% (standar WHO); dataran tinggi/siang hari: 0.24-100%

(standar survei), 0.24-70.48% (standar WHO); dan dataran tinggi/malam hari: 0-100% (standar survei/standar WHO). Semua kriteria di atas untuk kondisi jarak rata-rata eksisting (8 m).

Penelitian ini hanya salah satu dari sekian banyak gagasan penyelesaian permasalahan arsitektural di lingkungan perkotaan tropis lembab. Beberapa strategi sebagai rekomendasi untuk penelitian selanjutnya dalam kaitannya dengan integrasi rancangan untuk penghawaan dan kebisingan adalah analisis material bangunan dan analisis tapak untuk penghalang lingkungan (*site barrier*, seperti dalam gambar 7). Namun, rujukan tersebut akan terintegrasi dengan rancangan WWR hasil penelitian ini.

SIMBOL

A	= Floor area	[m ²]
A _A	= Free area of inlet openings	[m ²]
A _w	= Area of Wall	[m ²]
E	= effectiveness of openings (0.5-0.6 for perpendicular winds)	
N _p	= Number of people	
Q	= Air flow	[CFM; m ³ /s]
SRI _w	= Sound Reduction Index=Transmission Loss for Wall	[dBA]
SRI _A	= Sound Reduction Index=Transmission Loss for openings	[dBA]
t	= Thickness of material	[m, mm]
Tlag	= Time lag	[hours]
value	= Thermal transmittance	[W/m ² K]
V	= Wind velocity	[m/s]
W	= Weight of material	[kg/m ²]
WWR	= Window to Wall Ratio	[%]

REFERENSI

- ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55-1992): *Standard for Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Berglund, B., Lindvall T., Schwela D., Goh, K.T. (2000). *Guidelines for Community Noise*. Geneva: World Health Organization (WHO).
- De Salis, M.H.F., Oldham, D.J., Sharples, S. (2002). Noise Control Strategies for Naturally Ventilated Buildings. *Building and Environment*, 37, 471-484.
- Huang, L., Zhu, Y., Ouyang Q., Cao, B. (2012). A Study on The Effects of Thermal, Luminous, and Acoustic Environments on Indoor Environmental Comfort in Offices. *Building and Environment*, 49, 304-309.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996: *Baku Tingkat Kebisingan*.
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 441/KPTS/1998: *Persyaratan Teknis Bangunan*.
- Lai, A.C.K., Mui, K.W., Wong, L.T., Law, L.Y. (2009). An Evaluation Model for Indoor Environmental Quality (IEQ) Acceptance in Residential Buildings. *Energy and Buildings*, 41, 930-936.
- Samodra, F.X.T.B.S. (2016). *Proposal for Thermal and Noise Environment Improvement of The Traditional House in Indonesia*. Busan: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Pusan National University.
- Samodra, F.X.T.B., (2017). Analysis of Resilient Design by Thermoacoustic Adaptation of Tropical Urban Model. *Journal of Architecture and Urbanism*, 41(4): p. 305–315.
- SNI 03-6386-2000: *Spesifikasi Tingkat Bunyi dan Waktu Dengung dalam Bangunan Gedung dan Perumahan (Kriteria Desain yang Direkomendasikan)*.
- SNI 03-6572-2001: *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*.