

Jendela sebagai Pendingin Alami pada Rusunawa Grudo Surabaya

Aisyah Adzkie Yuliwarto¹ dan Agung Murti Nugroho²

¹ Mahasiswa Jurusan Arsitektur/Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

² Dosen Jurusan Arsitektur/Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Alamat Email penulis: aisyahadzkie@gmail.com

ABSTRAK

Rusunawa yang dibangun setelah tahun 2008 di Kota Surabaya, Rusunawa Grudo, memiliki kondisi suhu ruang dalam yang lebih tinggi dibandingkan ruang luar. Rusunawa sebagai bangunan subsidi pemerintah tidak dapat sepenuhnya memanfaatkan pendinginan mekanik untuk mencapai kenyamanan, perlu adanya upaya pendinginan alami. Pendinginan alami dapat dicapai melalui jendela yang berperan sebagai sumber masuknya panas dan angin ke dalam ruangan. Perbedaan segi desain (dimensi, posisi, dan jenis), orientasi terhadap matahari, dan *overhang* pada jendela memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kondisi suhu dan kecepatan angin bangunan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui bagaimana kinerja jendela sebagai pendingin alami untuk menurunkan suhu dan mencapai kenyamanan ventilasi pada Rusunawa Grudo Surabaya. Penelitian dilakukan menggunakan metode deskriptif dan eksperimental dengan *software* ANSYS 14.5 Fluent. Kinerja jendela diketahui melalui simulasi suhu dan kecepatan angin ruangan. Hasil menunjukkan bahwa modifikasi jendela mampu menurunkan suhu hingga 0,3 °C dan menghasilkan rata-rata kecepatan angin yang dibutuhkan untuk mencapai kenyamanan ventilasi. Modifikasi orientasi jendela mampu menurunkan suhu hingga 0,6 °C, sedangkan penggunaan *overhang* pada jendela yang sesuai SBV mampu menurunkan suhu hingga 0,12 °C.

Kata kunci: jendela, pendinginan alami, rusunawa

ABSTRACT

Low-cost apartment in Surabaya that was built after 2008, Rusunawa Grudo, has a higher indoor temperature conditions than outdoor. Low-cost apartment as a government subsidy building can't fully use mechanical cooling to achieve comfort, it is necessary to use passive cooling. Passive cooling can be achieved through windows which acts as the source of heat and wind in the room. The difference in design (position, type, and dimension), orientation to the sun, and overhang on windows give different effect on temperature's and air velocity's condition of the building. The purpose of this study is to know how the performance of windows as a passive coolant to lower the temperature and achieve the comfort of ventilation at Rusunawa Grudo Surabaya. The research was conducted using descriptive and experimental method with ANSYS 14.5 Fluent software. Window performance can be known by doing temperature's and wind's simulation. The results show that modification of window's design can lower the temperature by 0.3 °C and produce the required air velocity to achieve the comfort of ventilation. Modification of window orientation can lower the temperature by 0,6 °C, while the use of overhang in the appropriate window VSA able to lower the temperature by 0.12 °C.

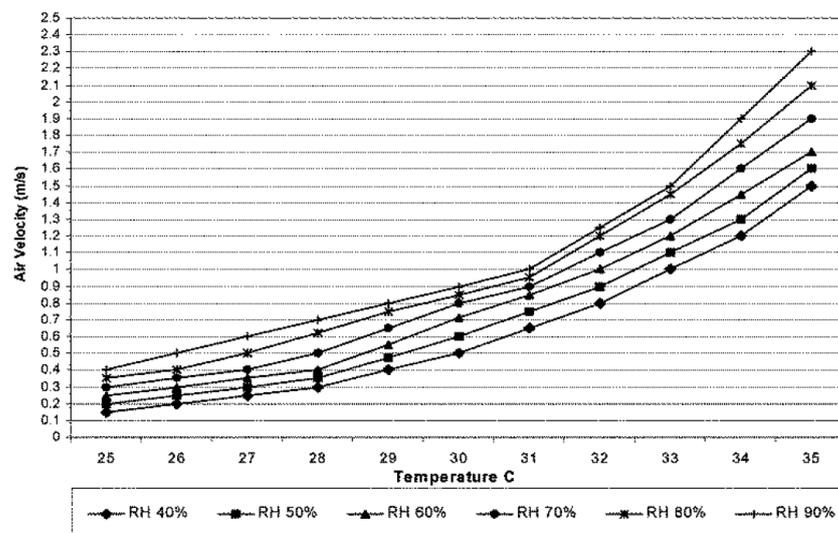
Keywords: window, passive coolant, low-cost apartment

1. Pendahuluan

Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia dengan rata-rata suhu yang mencapai 34,8°C. Kondisi suhu kota yang tinggi memancing penggunaan pendinginan buatan pada bangunan untuk mencapai kenyamanan termal. Salah satu rusunawa di Surabaya, yaitu Rusunawa Grudo, memiliki kondisi suhu yang lebih tinggi dari ruang luar (Alfata *et al.*, 2015). Penggunaan pendinginan buatan sebagai solusi pada rusunawa dapat meningkatkan penggunaan energi pada bangunan, padahal penggunaan energi pada rusunawa sendiri telah melebihi target pemerintah. Namun, penerapan pendinginan alami mampu menurunkan suhu dalam ruangan tanpa menggunakan energi. Salah satu penerapan pendinginan alami adalah melalui kinerja jendela. Perbedaan segi desain (dimensi, posisi, dan jenis), orientasi terhadap matahari, dan *overhang* pada jendela memberikan pengaruh terhadap suhu dan kecepatan ruangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kinerja jendela sebagai pendingin alami dengan kondisi iklim Kota Surabaya dalam menurunkan suhu dan mencapai kenyamanan ventilasi pada unit hunian Rusunawa Grudo Surabaya.

1.1 Tinjauan Iklim

Iklim terdiri dari berbagai macam unsur terkait fungsi termal, seperti suhu dan kecepatan angin. Manusia memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan menerima kondisi suhu lingkungan dalam jangka waktu tertentu baik bulanan maupun musiman sebagai suhu netral. Szokolay (2004) menyatakan bahwa suhu netral dapat dihitung melalui suhu rata-rata bulanan pada suatu lingkungan dengan persamaan, yaitu suhu netral = $17.6 + 0.31$ suhu rata-rata bulanan. Kondisi suhu nyaman yang dapat diterima manusia memiliki rentang yang disebut zona nyaman. Batas suhu pada zona nyaman yang dapat diterima 90% ditentukan melalui suhu netral (T_n), yaitu pada rentang 5°. Zona nyaman tersebut berkisar di atas dan di bawah suhu netral, yaitu ($T_n - 2,5$) °C sampai ($T_n + 2,5$) °C.



Gambar 1. Kebutuhan kecepatan angin untuk kenyamanan ventilasi
(Sumber: Nugroho *et al.*, 2007)

Kecepatan angin juga memberikan pengaruh terhadap kenyamanan melalui penyejukan terhadap permukaan kulit manusia yang disebut sebagai kenyamanan

ventilasi. Nugroho *et al.* (2007) meneliti mengenai digram untuk menentukan besarnya kebutuhan kecepatan angin dalam mencapai kenyamanan ventilasi. Kebutuhan kecepatan angin dapat ditentukan dengan mengetahui kondisi suhu dan kelembaban pada ruang tersebut (lihat gambar 1).

1.2 Tinjauan Pendingin Alami

Penurunan suhu dapat dicapai melalui penghindaran panas kemudian pendinginan alami. Penghindaran panas dapat dilakukan melalui orientasi dan pembayangan. Orientasi bangunan pada iklim tropis yang disarankan adalah menghadap utara-selatan dan menghindari sisi terpanjang bangunan berada di timur dan barat (Lechner, 2015). Pembayangan melalui perhitungan SBV dan SBH dapat memberikan hasil maksimal. Pendinginan alami pada iklim tropis sebaiknya melalui ventilasi alami (Lechner, 2015).

1.3 Tinjauan Jendela

Faktor jendela yang berpengaruh terhadap suhu dan kecepatan angin adalah desain (dimensi, posisi, dan jenis), orientasi, dan *overhang*. Dimensi jendela mempengaruhi seberapa besar panas dan angin yang masuk ke dalam ruangan. Menurut Lechner (2015) pada daerah iklim panas lembab untuk mencapai kenyamanan luas jendela minimal 20% dari luas lantai. Selain itu, posisi jendela sebaiknya mengarah ke zona aktifitas manusia (hingga ketinggian 2 m) agar angin yang masuk dapat dirasakan manusia (Koenigsberger *et al.*, 1974). Jenis jendela juga mempengaruhi efektifitas angin. Jendela yang paling efektif untuk memasukkan angin adalah jendela casement dengan efektifitas sebesar 90% dan jendela awning, hopper dan jalousi dengan efektifitas sebesar 75% (Moore, 1993 dalam Mediastika, 2002).

Orientasi utama jendela yang tepat untuk menghindari masuknya panas adalah dengan menghadap ke arah utara ataupun selatan. Peletakan *overhang* pada jendela juga perlu diperhatikan jaraknya. Jarak antara *overhang* dengan dinding yang disarankan adalah 6" (15 cm) atau lebih. Peletakan *overhang* yang lebih tinggi di atas jendela juga dapat menjaga arah aliran tetap mengarah ke zona aktifitas manusia. Jarak minimal peletakan di atas jendela adalah 12" (30 cm) (Lechner, 2015).

1.4 Tinjauan Rusunawa

Persyaratan kualitas ruang pada hunian rusunawa terkait penghawaan, yaitu menggunakan sistem pertukaran udara *cross ventilation*. Selain itu, bukaan yang berfungsi untuk memasukkan angin harus memiliki luas minimum 1% dari luas ruang tersebut (Permenpu No. 60/PRT/1992).

2. Metode

Penelitian dilakukan menggunakan metode deskriptif dan eksperimental dengan *software* ANSYS 14.5 Fluent. Data fisik bangunan diperoleh melalui survei lapangan. Data suhu dan kecepatan angin bangunan diperoleh dari penelitian Alfata *et al.*, 2015. Kondisi eksisting bangunan dianalisis menggunakan metode deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Kinerja jendela dianalisis dengan metode eksperimental, yaitu dengan mensimulasikan jendela dari segi desainnya (dimensi, posisi, dan jenis), orientasi dan *overhang* jendela. Hasil simulasi masing-masing alternatif dibandingkan untuk dipilih satu alternatif yang memiliki suhu paling rendah. Kecepatan angin yang dihasilkan oleh

alternatif terpilih kemudian dibandingkan dengan kebutuhan kecepatan angin pada kondisi suhu alternatif tersebut, apabila terpenuhi maka alternatif tersebut telah mencapai kenyamanan ventilasi. Keseluruhan analisis kemudian disintesis untuk mencapai tujuan penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Iklim

Rata-rata suhu bulanan Kota Surabaya selama 2010-2015 berkisar antara 25, 37 – 27, 10 °C dengan rata-rata suhu yaitu 28,7 °C. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui suhu netral (T_n) pada Kota Surabaya. Berikut perhitungannya berdasarkan persamaan menurut Szokolay (2004).

$$T_n = 17.6 + 0.31 \text{ suhu rata-rata bulanan}$$

$$= 17.6 + 0.31 (28,7 \text{ } ^\circ\text{C}) = 26.497 \text{ } ^\circ\text{C} \approx 26.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

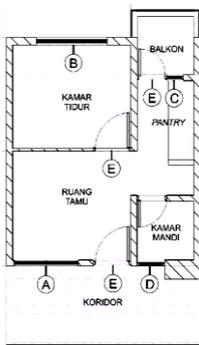
Hasil perhitungan menunjukkan suhu netral pada Kota Surabaya adalah sebesar 26.5 °C. Suhu netral ini dijadikan acuan untuk menghitung suhu nyaman, yaitu pada rentang 5 °C, ($T_n - 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$) – ($T_n + 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$). Ambang batas tertinggi suhu nyaman berdasarkan persamaan $T_n + 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$, yaitu sebesar 29 °C dan ambang batas terendahnya $T_n - 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$, yaitu sebesar 24 °C. Keseluruhan perhitungan menunjukkan suhu netral sebesar 26.5 °C dan suhu nyaman sebesar 24 °C - 29 °C.

3.2 Analisis Jendela Eksisting

Jendela eksisting pada Rusunawa Grudo terdiri dari 5 macam jendela. Jendela tersebut dianalisis dimensi, posisi dan jenisnya berdasarkan teori/standar jendela yang telah ditinjau sebelumnya. Berikut ini adalah tabulasi jendela yang dilakukan.

Tabel 1. Analisis jendela eksisting

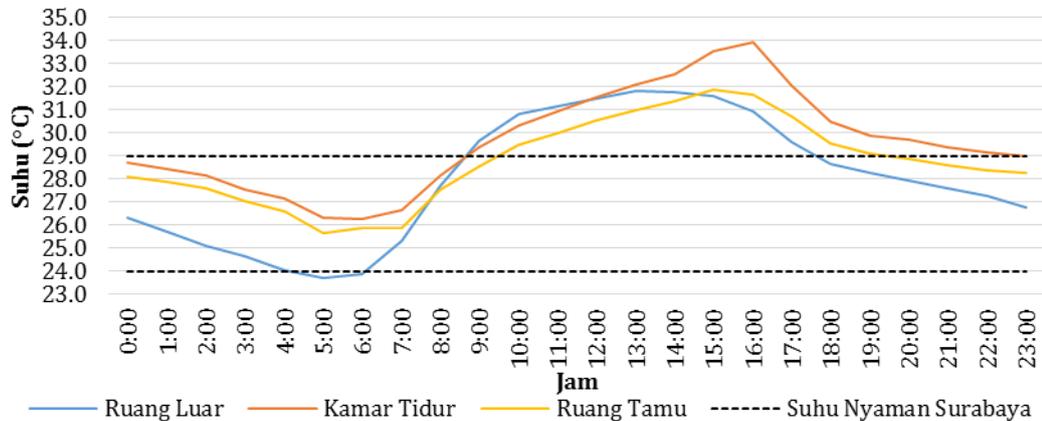
Nama jendela	Dimensi		Posisi		Jenis
	Lechner, 2015 (20% luas lantai)	Permenpu No. 60/PRT/1992 (1% luas lantai)	Ketinggian manusia ($\leq 2 \text{ m}$)	Ketinggian plafon ($> 2 \text{ m}$)	
A	Ya	Ya	Ya	Tidak	<i>Awning</i>
B	Ya	Ya	Ya	Tidak	<i>Awning</i>
C	Tidak	Ya	Ya	Tidak	<i>Awning</i>
D	Tidak	Ya	Tidak	Ya	<i>Bovenlicht</i>
E	Tidak	Ya	Tidak	Ya	<i>Awning</i>



Hasil analisis jendela menunjukkan bahwa dimensi seluruh jendela telah memenuhi standar Permenpu. Hanya jendela A dan B yang memenuhi syarat Lechner. Posisi jendela sebagian besar telah berada di zona manusia, sehingga angin dapat terarahkan ke manusia. Jenis jendela yang dominan adalah *awning* dengan efektifitas masuknya angin sebesar 75%.

3.3 Analisis Data Pengukuran

Data pengukuran adalah suhu dan kecepatan angin pada tanggal 31 Agustus-4 September yang diperoleh dari penelitian Alfata *et al.* (2015). Suhu selama pengukuran 5 hari dirata-rata per jamnya untuk dibandingkan dengan suhu nyaman yang telah dihitung sebelumnya. Hasilnya adalah kondisi suhu di Rusunawa Grudo berada diatas suhu nyaman pada pukul 08.00 – 23.00 (lihat gambar 2), yang merupakan waktu aktifitas penghuni. Selisih tertinggi dengan suhu nyaman berada di kamar tidur, yaitu sebesar 2,8 °C.



Gambar 2. Perbandingan suhu eksisting dengan suhu nyaman Surabaya

Kecepatan angin eksisting pada unit hunian mengalami penurunan dari ruang luar ke dalam bangunan. Rata-rata kecepatan angin ruang luar selama 5 hari adalah 1,3 m/s, sedangkan kecepatan angin ruang tamu adalah sebesar 0,3 m/s dan kamar tidur sebesar 0,1 m/s. Kecepatan angin pada kamar tidur yang rendah dapat mempersulit kenyamanan ventilasi pada unit hunian. Kondisi suhu ruangan juga tinggi, padahal kondisi jendela memiliki dimensi 20% luas lantai dan berada di posisi manusia. Perlu adanya upaya lebih lanjut melalui modifikasi jendela untuk memaksimalkan kinerja jendela.

3.4 Modifikasi Desain Jendela

Modifikasi pada desain jendela dilakukan secara berurutan dari pengubahan dimensi, kemudian posisi, dan yang terakhir jenisnya untuk mengetahui kinerja jendela dalam menurunkan suhu melalui desainnya. Parameter modifikasi jendela ditentukan berdasarkan hasil simulasi modifikasi yang mampu menurunkan suhu paling besar. Jendela yang mengalami modifikasi adalah jendela yang berada pada kamar tidur (jendela B) sebagai *inlet* dan ruang tamu (jendela A) sebagai *outlet*.

Dimensi jendela memiliki pengaruh untuk menentukan seberapa besar panas dan angin yang masuk ke dalam ruangan. Dimensi jendela A, yaitu 1,52 m × 1,36 m diubah menjadi 1,50 m × variasi dan dimensi jendela B, yaitu 0,80 m × 0,46 m diubah menjadi 1,00 m × variasi. Variasi dimensi jendela tersebut adalah 1,00 m, 0,75 m, dan 0,50 m. Kombinasi dari alternatif jendela A dan B dengan ketiga variasi tersebut menghasilkan 9 alternatif dimensi dengan posisi jendela dibuat sama, yaitu +1,00 m dan jenis jendela ditiadakan.

Seluruh alternatif dimensi disimulasikan menggunakan ANSYS dan menghasilkan suhu dan kecepatan angin yang beragam (lihat tabel 2). Hasil simulasi menunjukkan

bahwa alternatif 7 memiliki suhu terendah dengan penurunan suhu sebesar 0,06 °C di ruang tamu dan 0,28 °C di kamar tidur. Rata-rata kecepatan anginnya adalah 0,75 m/s. Sehingga, alternatif 7 menjadi alternatif dimensi terpilih.

Tabel 2. Hasil simulasi alternatif dimensi

Alt.	Posisi		Suhu modifikasi dimensi		Selisih dengan simulasi eksisting		Σ Kec. angin
	Jend. A (inlet)	Jend. B (outlet)	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur	
1	1.00 m	1.00 m	31.54 °C	31.76 °C	-0.06 °C	-0.26 °C	0.75 m/s
2	1.00 m	0.75 m	31.54 °C	31.78 °C	-0.06 °C	-0.24 °C	0.83 m/s
3	1.00 m	0.50 m	31.54 °C	31.88 °C	-0.06 °C	-0.14 °C	0.77 m/s
4	0.75 m	1.00 m	31.56 °C	31.78 °C	-0.04 °C	-0.24 °C	0.76 m/s
5	0.75 m	0.75 m	31.56 °C	31.92 °C	-0.04 °C	-0.1 °C	0.76 m/s
6	0.75 m	0.50 m	31.52 °C	31.96 °C	-0.08 °C	-0.06 °C	0.78 m/s
7	0.50 m	1.00 m	31.54 °C	31.74 °C	-0.06 °C	-0.28 °C	0.77 m/s
8	0.50 m	0.75 m	31.54 °C	31.82 °C	-0.06 °C	-0.2 °C	0.77 m/s
9	0.50 m	0.50 m	31.54 °C	31.98 °C	-0.06 °C	-0.04 °C	0.78 m/s

Selanjutnya modifikasi posisi pada alternatif 7. Posisi jendela memiliki pengaruh terhadap arah panas dan angin yang masuk ke dalam ruangan. Posisi jendela A dan B dimodifikasi berdasarkan ketinggian manusia (≤ 2 m) dengan variasi, yaitu 1,00 m, 0,75 m, dan 0,50 m. Kombinasi dari alternatif jendela A dan B dengan ketiga variasi tersebut menghasilkan 9 alternatif posisi dengan dimensi dan jenis jendela tetap sama dengan alternatif 7.

Seluruh alternatif posisi disimulasikan menggunakan ANSYS dan menghasilkan suhu dan kecepatan angin yang beragam (lihat tabel 3). Hasil simulasi menunjukkan bahwa alternatif 7-1 memiliki suhu terendah dengan penurunan suhu sebesar 0,06 °C di ruang tamu dan 0,28 °C di kamar tidur. Rata-rata kecepatan anginnya adalah 0,75 m/s. Sehingga, alternatif 7-1 menjadi alternatif dimensi terpilih.

Tabel 3. Hasil simulasi alternatif posisi

Alt.	Posisi		Suhu modifikasi dimensi		Selisih dengan simulasi eksisting		Σ Kec. angin
	Jend. A (inlet)	Jend. B (outlet)	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur	
7-1	+1.00 m	+1.00 m	31.54 °C	31.74 °C	-0.06 °C	-0.28 °C	0.77 m/s
7-2	+1.00 m	+0.75 m	31.54 °C	31.80 °C	-0.06 °C	-0.22 °C	0.77 m/s
7-3	+1.00 m	+0.50 m	31.54 °C	31.82 °C	-0.06 °C	-0.20 °C	0.77 m/s
7-4	+0.75 m	+1.00 m	31.54 °C	31.80 °C	-0.06 °C	-0.22 °C	0.77 m/s
7-5	+0.75 m	+0.75 m	31.54 °C	31.82 °C	-0.06 °C	-0.20 °C	0.77 m/s
7-6	+0.75 m	+0.50 m	31.54 °C	31.84 °C	-0.06 °C	-0.18 °C	0.77 m/s
7-7	+0.50 m	+1.00 m	31.58 °C	31.84 °C	-0.02 °C	-0.18 °C	0.78 m/s
7-8	+0.50 m	+0.75 m	31.54 °C	31.78 °C	-0.06 °C	-0.24 °C	0.77 m/s
7-9	+0.50 m	+0.50 m	31.56 °C	31.88 °C	-0.04 °C	-0.14 °C	0.78 m/s

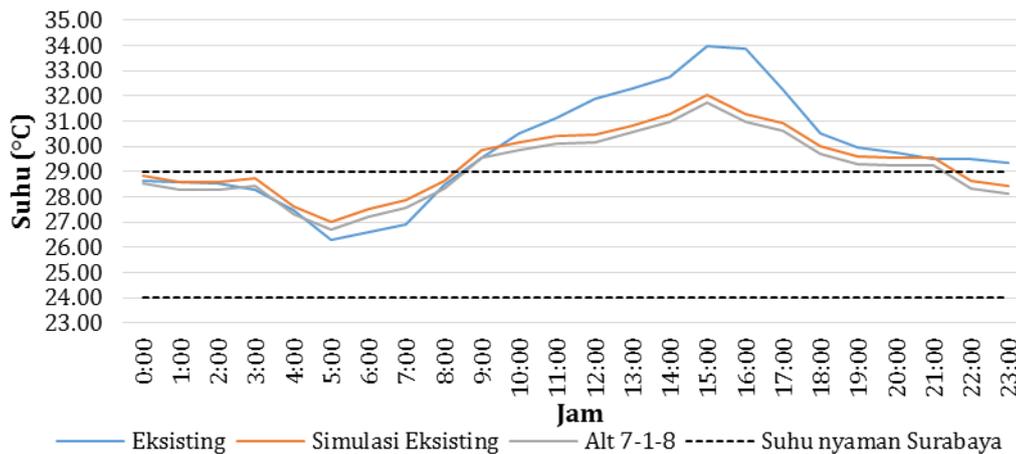
Terakhir adalah modifikasi jenis pada alternatif 7-1. Jenis jendela memiliki pengaruh terhadap arah dan besarnya panas dan angin yang masuk ke dalam ruangan. Jenis jendela A dan B dimodifikasi menjadi jendela nako dengan variasi sudut, yaitu 45°, 135°, dan 90°. Kombinasi dari alternatif jendela A dan B dengan ketiga variasi tersebut menghasilkan 9 alternatif jenis dengan dimensi dan posisi jendela tetap sama dengan alternatif 7-1.

Seluruh alternatif jenis disimulasikan menggunakan ANSYS dan menghasilkan suhu dan kecepatan angin yang beragam (lihat tabel 4). Hasil simulasi menunjukkan bahwa alternatif 7-1-8 memiliki suhu terendah dengan penurunan suhu sebesar 0,08 °C di ruang tamu dan 0,30 °C di kamar tidur. Rata-rata kecepatan anginnya adalah 0,78 m/s. Sehingga, alternatif 7-1-8 menjadi alternatif jenis terpilih.

Tabel 4. Hasil simulasi alternatif jenis

Alt.	Jenis		Suhu modifikasi dimensi		Selisih dengan simulasi eksisting		Σ Kec. angin
	Jend. A (inlet)	Jend. B (outlet)	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur	
7-1-1	45°	45°	31.72 °C	31.80 °C	0.12 °C	-0.22 °C	0.79 m/s
7-1-2	45°	135°	31.68 °C	31.84 °C	0.08 °C	-0.18 °C	0.78 m/s
7-1-3	45°	90°	31.68 °C	31.80 °C	0.08 °C	-0.22 °C	0.78 m/s
7-1-4	135°	45°	31.62 °C	31.88 °C	0.02 °C	-0.14 °C	0.79 m/s
7-1-5	135°	135°	31.64 °C	31.92 °C	0.04 °C	-0.10 °C	0.79 m/s
7-1-6	135°	90°	31.60 °C	31.82 °C	0.00 °C	-0.20 °C	0.78 m/s
7-1-7	90°	45°	31.54 °C	31.74 °C	-0.06 °C	-0.28 °C	0.78 m/s
7-1-8	90°	135°	31.52 °C	31.72 °C	-0.08 °C	-0.30 °C	0.78 m/s
7-1-9	90°	90°	31.54 °C	31.88 °C	-0.06 °C	-0.14 °C	0.76 m/s

Modifikasi desain jendela yang terpilih adalah alternatif 7-1-8. Desain jendela A alternatif 7-1-8 memiliki dimensi 1,5 m x 0,5 m, posisi +1.00 m dari lantai, dan jenis jendela nako sudut 90°. Desain jendela B alternatif 7-1-8 memiliki dimensi 1 m x 1 m, posisi +1.00 m dari lantai, dan jenis jendela nako dengan sudut 135°. Kinerja dari desain jendela ini mampu menurunkan suhu hingga 0,30 °C pada unit hunian. Hasil simulasi alternatif 7-1-8 selama 24 jam menunjukkan bahwa suhu dalam unit hunian masih berada di atas suhu nyaman, yaitu pukul 08.00-21.00 (lihat gambar 3). Modifikasi desain jendela menunjukkan adanya penurunan suhu meskipun belum mencapai suhu nyaman. Kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 0,78 m/s juga sesuai kebutuhan kenyamanan ventilasi pada suhu ruang 31,74 °C dan kelembaban 40% berdasarkan diagram oleh Nugroho *et al.* (2007) (lihat gambar 1). Alternatif 7-1-8 menjadi desain jendela untuk modifikasi orientasi berikutnya.



Gambar 3. Perbandingan suhu simulasi alternatif 7-18 dengan suhu nyaman Surabaya

3.5 Modifikasi Orientasi Jendela

Modifikasi orientasi jendela dilakukan sebagai upaya penghindaran panas untuk mengetahui bagaimana kinerja jendela dalam penurunan suhu apabila orientasi jendela diubah-ubah. Parameter modifikasi jendela ditentukan berdasarkan hasil simulasi modifikasi yang mampu menurunkan suhu paling besar. Orientasi jendela menghadap ke barat timur dengan kemiringan 8,614° dimodifikasi dengan variasi menghadap utara, selatan, barat, dan timur sebagai alternatif orientasi jendela. Simulasi orientasi hanya mempertimbangkan suhu dari beban radiasi, arah angin dan kecepatannya diabaikan.

Seluruh alternatif orientasi disimulasikan menggunakan ANSYS pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 untuk dibandingkan tiap jamnya. Hasil simulasi menunjukkan

bahwa orientasi yang memiliki suhu terendah secara runtut adalah utara, selatan, timur, dan barat (lihat gambar 5). Kinerja jendela alternatif utara memiliki suhu terendah pada pukul 08.00 dengan penurunan hingga 0,40 °C dan pada pukul 16.00 dengan penurunan hingga 0,60 °C. Kinerja jendela alternatif selatan juga berhasil menurunkan suhu pada pukul 08.00 sebesar 0,36 °C dan pada pukul 16.00 sebesar 0,28 °C. Alternatif utara dan selatan pun menjadi orientasi yang digunakan untuk modifikasi *overhang* berikutnya.

Tabel 5. Hasil simulasi alternatif orientasi

Alternatif	Pukul	Suhu modifikasi dimensi (°C)		Selisih dengan simulasi eksisting (°C)	
		Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur
Utara	08.00	28.30	28.34	-0.06	-0.40
	12.00	30.10	30.14	0.00	0.00
	16.00	30.90	31.04	-0.04	-0.50
Selatan	08.00	28.30	28.38	-0.06	-0.36
	12.00	30.12	30.22	0.02	0.08
	16.00	30.92	31.26	-0.02	-0.28
Timur	08.00	28.32	28.52	-0.04	-0.22
	12.00	30.10	30.18	0.00	0.04
	16.00	30.96	31.40	0.02	-0.14
Barat	08.00	28.36	28.74	0.00	0.00
	12.00	30.10	30.14	0.00	0.00
	16.00	30.94	31.54	0.00	0.00

3.6 Modifikasi Overhang pada Jendela

Modifikasi *overhang* dilakukan sebagai upaya penghindaran panas untuk mengetahui kinerja jendela dengan *overhang* dalam menurunkan suhu dalam ruangan. Desain *overhang* ditentukan menggunakan SBV pada waktu yang paling membutuhkan pembayangan. SBV ini berbeda-beda tiap orientasi jendelanya. Orientasi *overhang* yang dimodifikasi berada di utara dan selatan. Modifikasi pun dilakukan di tiap orientasi.

Jendela utara membutuhkan pembayang pada tanggal 22 Juni pukul 16.00. SBV yang dihasilkan sebesar 42°. Perbedaan SBV dan posisi *overhang* menghasilkan dimensi *overhang* yang berbeda. Posisi *overhang* dapat diletakkan berjarak ke samping 0,15 m dari jendela atau ke atas 0,30 m dari jendela (Lechner, 2015). Kedua posisi tersebut dijadikan 2 alternatif *overhang* untuk disimulasikan menggunakan ANSYS, yaitu alternatif U1 dan U2.

Seluruh alternatif *overhang* disimulasikan pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 untuk dibandingkan tiap jamnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja jendela alternatif U2 memiliki suhu terendah dengan penurunan pada pukul 08.00 sebesar 0,20 °C, pada pukul 12.00 sebesar 0,04 °C dan pada pukul 16.00 sebesar 0,12 °C.

Tabel 6. Hasil simulasi alternatif *overhang* sisi utara

Alternatif	Keterangan	Pukul	Suhu modifikasi dimensi (°C)		Selisih dengan simulasi eksisting (°C)	
			Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur
U1	Lebar 0.96 m; Jarak 0.15 m ke samping dari jendela	08.00	28.30	28.36	0.00	0.02
		12.00	30.08	30.16	-0.02	0.02
		16.00	30.88	30.90	-0.02	-0.14
U2	Lebar 1.44 m; Jarak 0.3 m ke atas dari jendela	08.00	28.28	28.32	-0.02	-0.02
		12.00	30.08	30.10	-0.02	-0.04
		16.00	30.88	30.92	-0.02	-0.12

Jendela selatan membutuhkan pembayang pada tanggal 22 Desember pukul 16.00. SBV yang dihasilkan sebesar 57°. Perbedaan SBV dan posisi *overhang* menghasilkan dimensi *overhang* yang berbeda. Posisi *overhang* dapat diletakkan berjarak ke samping 0,15 m dari jendela atau ke atas 0,30 m dari jendela (Lechner,

2015). Kedua posisi tersebut dijadikan 2 alternatif overhang untuk disimulasikan menggunakan ANSYS, yaitu alternatif S1 dan S2.

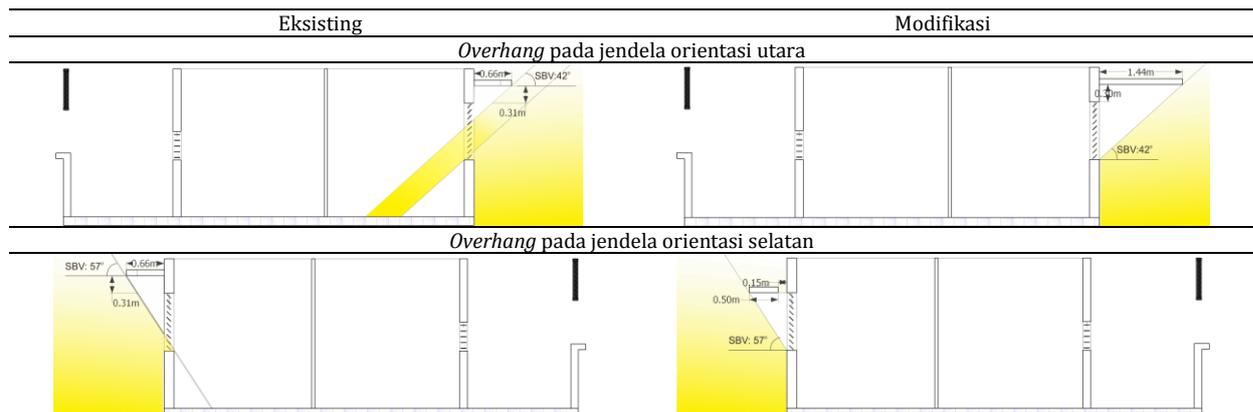
Seluruh alternatif *overhang* disimulasikan pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 untuk dibandingkan tiap jamnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja jendela alternatif S1 memiliki suhu terendah dengan penurunan suhu 0,2 °C pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00.

Tabel 7. Hasil simulasi alternatif *overhang* sisi selatan

Alternatif	Keterangan	Pukul	Suhu modifikasi dimensi (°C)		Selisih dengan simulasi eksisting (°C)	
			Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur
S1	Lebar 0.50 m; Jarak 0.15 m ke samping dari jendela	08.00	28.3	28.36	0.00	-0.02
		12.00	30.08	30.12	-0.04	0.00
		16.00	30.92	31.26	0.00	0.00
S2	Lebar 0.96 m; Jarak 0.3 m ke atas dari jendela	08.00	28.3	28.28	0.00	-0.10
		12.00	30.1	30.18	-0.02	0.06
		16.00	30.9	31.34	-0.02	0.08

Penggunaan *overhang* sesuai SBV pada jendela telah berhasil menurunkan suhu ruang dalam meskipun tidak signifikan. Alternatif *overhang* pada jendela utara dengan lebar 1,44 m dengan jarak 0,3 m ke atas dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,12 °C. Alternatif *overhang* pada jendela utara dengan lebar 0,5 m dengan jarak 0,15 m ke samping dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,04 °C. Berikut ini perbandingan *overhang* eksisting dan modifikasi berdasarkan proyeksi pembayangan SBV-nya.

Tabel 9. Perbandingan *overhang* eksisting dan *overhang* modifikasi



4. Kesimpulan

Suhu nyaman yang dapat diterima oleh orang Surabaya adalah 24 °C – 29 °C. Namun, kondisi suhu pada unit hunian Rusunawa Grudo memiliki suhu yang berada di atas suhu nyaman Surabaya dengan selisih suhu mencapai 2,8 °C. Kecepatan angin yang dihasilkan pada unit hunian juga rendah dibandingkan ruang luar, sehingga dapat menyebabkan tidak tercapainya kenyamanan ventilasi. Padahal kondisi jendela sudah memenuhi 20% luas lantai dan berada di posisi ketinggian manusia. Jenis jendela berupa *awning* juga 75% efektif memasukkan angin. Kinerja jendela sebagai pendingin alami perlu dimaksimalkan melalui modifikasi desain (dimensi, posisi, dan jenis), orientasi, dan *overhang* pada jendela. Modifikasi jendela dilakukan secara runtut melalui simulasi menggunakan ANSYS 14.5 agar diketahui suhu dan kecepatan angin yang dihasilkan.

Modifikasi desain jendela mampu menurunkan suhu hingga 0,3 °C. Desain jendela tersebut adalah jendela dengan *inlet* yang memiliki dimensi 1,5 m x 0,5 m, posisi ketinggian dari lantai +1 m, dan jenis jendela berupa jendela nako dengan sudut 90° dan *outlet* yang memiliki dimensi 1 m x 1 m, posisi ketinggian dari lantai +1 m, dan jenis jendela berupa jendela nako dengan sudut 135°. Kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 0,78 °C

Orientasi jendela dengan kinerja terbesar untuk menurunkan suhu secara berurutan adalah utara, selatan, timur dan barat. Modifikasi orientasi dari barat ke utara mampu menurunkan suhu pada pagi hari sebesar 0,4 °C, kemudian pada sore hari menurunkan 0,5 °C. Modifikasi orientasi jendela ke selatan juga menurunkan suhu pada pagi hari sebesar 0,36 °C, kemudian pada siang hari menurunkan sebesar 0,5 °C, dan sore hari menurunkan sebesar 0,28 °C.

Modifikasi *overhang* pada jendela utara dengan lebar 1,44 m dengan jarak 0,3 m ke atas dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,12 °C. Modifikasi *overhang* pada jendela selatan dengan lebar 0,5 m dengan jarak 0,15 m ke samping dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,04 °C.

Daftar Pustaka

- Alfata, M. N. F., Hirata, N., Kubota, T., Nugroho, A. M., Uno, T., Antaryama, I. G. N., & Ekasiwi, S. N. 2015. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Apartments in Surabaya, Indonesia. *Procedia Engineering*. 121: 459-467.
- Koenigsberger, Otto H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A., Szokolay, S.V. 1974. *Manual of Tropical Housing and Building, Part 1: Climatic Design*. London: Longman Group Limited.
- Lechner, Norbert. 2015. *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Mediastika, Christina E. 2002. Desain Jendela Bangunan Domestik untuk Mencapai "Cooling Ventilation". *Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur*. 30 (1).
- Menteri Pekerjaan Umum. 1992. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 60/PRT/1992 tentang Persyaratan Teknis Pembangunan Rumah Susun.
- Nugroho, A.M., Ahmad, M.H. and Ossen, D.R. 2007. A preliminary study of thermal comfort in Malaysia' s single storey terraced houses. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 6(1): 175-182.
- Szokolay, Steven V. 2004, *Introduction to Architectural Science the Basic of Sustainable Design*. Great Britain: Elsevier Ltd.