

Pengaruh Konfigurasi Balkon Tipe Dalam terhadap Kinerja Energi Pendinginan pada Bangunan Hunian Vertikal di Indonesia

The Impact of Inside Balcony Type Configuration on Cooling Energy Performance in Vertical Housing Buildings in Indonesia

Ade Nurma Prasetyo^{1*}, Agus Hariyadi²

^{1,2}) Departemen Arsitektur dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Sendowo, Kabupaten Sleman, DIY 55281

^{1*}Adenurmaprasetyo@mail.ugm.ac.id

[Diterima 24/09/2024, Disetujui 30/10/2024, Diterbitkan 10/12/2024]

Abstrak

Bangunan di kota-kota besar Indonesia diprediksi akan didominasi oleh hunian vertikal seperti Rumah Susun, yang akan menjadi mayoritas dari stok bangunan. Bangunan menyumbang sekitar 40% dari konsumsi energi primer global dan sepertiga emisi CO₂, yang mana dapat berkontribusi terhadap pemanasan global. Salah satu dampaknya adalah meningkatnya suhu lingkungan, yang mendorong penggunaan solusi pendinginan aktif seperti AC untuk mengatasi ketidaknyamanan termal akibat pemanasan global. Setelah pandemi COVID-19, peningkatan kegiatan di dalam ruang juga mendorong kebutuhan pendinginan. Salah satu solusi untuk mengurangi kebutuhan ini adalah melalui desain pasif dengan penggunaan elemen *shading* yang ekonomis pada selubung bangunan. Fasad bangunan, yang meliputi depan, samping dan belakang, berinteraksi langsung dengan lingkungan luar, dan studi ini berfokus pada konfigurasi balkon dalam. Metode simulasi dengan cara simulasi menggunakan software rhinoceros, grasshopper dengan plugin Honeybee dan ladybug untuk menjalankan mesin energyplus. Hasil simulasi menunjukkan bahwa balkon dalam berbentuk U, semakin kedalam bentuk balkon, semakin meningkat performansi cooling energinya, di karenakan efek pada malam hari dinding yang semakin dalam memiliki konduktifitas yang tinggi. Penggunaan tipe balkon dalam dapat mengurangi cooling energy pada unit dengan peletakan balkon tipe dalam tetapi dengan tanpa merubah bentuk ruangan.

Kata Kunci : Cooling Energy, Hunian Vertikal, Shape Factor, Simulasi

Abstract

Buildings in major Indonesian cities are projected to be dominated by vertical housing such as "Rumah Susun" (public housing), which is anticipated to make up most building stock. Buildings contribute to around 40% of global primary energy consumption and account for one-third of CO₂ emissions, both of which can significantly impact global warming. One consequence of this is the rise in ambient temperatures, which drives the increased use of active cooling solutions like air conditioning (AC) to counter thermal discomfort caused by global warming. Post-COVID-19, the shift toward more indoor activities has further fuelled the demand for cooling. One solution to reduce this demand is through passive design, utilizing economical shading elements on the building envelope. Building facades—covering the front, sides, and rear—interact directly with the external environment, and this study focuses on the configuration of recessed balconies. The study uses simulation methods with software such as Rhinoceros and Grasshopper, employing the Honeybee and Ladybug plugins to run EnergyPlus simulations. Simulation results show that recessed U-shaped balconies improve cooling energy performance as their depth increases. This improvement is attributed to the higher conductivity of deeper walls at night. The use of recessed balcony types can reduce cooling energy for units with recessed balcony placements, without altering room layouts.

Keywords : Cooling Energy, Vertical Housing, Shape Factor, Simulation

Pendahuluan

Negara-negara di Asia, termasuk Indonesia, yang terletak di dekat garis khatulistiwa, menghadapi iklim tropis dengan kelembapan yang lebih tinggi dan fluktuasi suhu musiman yang rendah (Saliim & Satwikasari, 2022). Bangunan berkontribusi sebesar 40% terhadap konsumsi energi primer global dan menyumbang sepertiga dari emisi CO₂ dunia, salah satunya terhadap peformansi penggunaan material fasad material mempengaruhi konsumsi energi, terutama pada konsumsi energi pendinginan (Hendrik & Tualaka, n.d.). Dunia kini menghadapi dampak yang jauh lebih parah akibat pemanasan global, seperti pencairan es, kenaikan cepat permukaan laut, curah hujan yang tidak menentu, angin topan dan badai, banjir, kekeringan, serta peningkatan suhu lingkungan (Chandra et al., 2019). Akibatnya, manusia mencari solusi pendinginan aktif seperti AC untuk mengatasi ketidaknyamanan termal di dalam bangunan yang diakibatkan oleh pemanasan global. Peningkatan standar ekonomi dan ketersediaan AC membuat penggunaannya semakin populer di kalangan masyarakat. (Mallick, n.d.), didukung juga dengan peningkatan konsumsi energi pendinginan pasca pandemi (Surahman et al., 2022). Peningkatan konsumsi energi untuk pendinginan ruang merupakan isu global, salah satu solusinya adalah desain pasif melalui penerapan elemen peneduh yang terjangkau pada selubung bangunan (Suryandono & Novitasari, 2024) dan penggunaan sistem HVAC pada bangunan (Becerik-Gerber et al., 2014).

Bangunan yang berada di kota-kota besar di Indonesia yaitu apartemen umum, yang disebut “Rumah Susun”, akan menyumbang proporsi terbesar dari stok apartemen (Surahman et al., 2017). Berkaitan dengan hunian vertikal di Indonesia fasad bangunan hunian vertical identik dengan penggunaan balkon, yang memiliki karakteristik *layout* balkon, dengan tipe luar, semi luar dan dalam (Prasetyo et al., 2023). Balkon juga memiliki beberapa karakteristik antara lain, balkon terbuka, balkon kaca, dan balkon yang tereliminasi (Ribeiro et al., 2020). Fasad memiliki peran yang penting dalam pencahayaan dan kondisi termal bangunan yang akhirnya berdampak pada penggunaan energi (Faragalla & Asadi 2022). Konsep desain fasad dapat juga memengaruhi terciptanya kenyamanan termal di dalam ruangan dimana desain tersebut dapat mereduksi panas yang diterima bangunan dari radiasi panas matahari dan meminimalisir penggunaan energi tak terbarukan (Latifah, 2018). Balkon berperan penting dalam memberikan kenyamanan termal dan mengurangi konsumsi energi pada bangunan karena berpotensi memberikan penutup untuk melindungi bangunan dari angin serta mengurangi tekanan dan hisapan pada sebagian besar area permukaan bangunan (Gil-Lopez & Gimenez-Molina, 2013). Balkon membantu mengarahkan dan memungkinkan aliran masuk untuk mengubah ventilasi alami di dalam ruangan (Mohamed et al., 2009). Dinding pembayang juga dapat membayangi radiasi matahari dan menyimpan listrik, dilengkapi dengan jendela kaca transparan, persentase penyimpanan tertinggi adalah sebesar 12,3% untuk konsumsi energi dari AC, dapat juga mempengaruhi peformansi pencahayaan pada hunian vertikal (Omrani et al., 2017).

Pembahasan dinding dalam juga berpengaruh terhadap bentuk bangunan, dimana kedalaman bentuk bangunan akan membentuk bangunan dengan tipologi bentuk U (*U-Shape*) yang menghasilkan *shape factor* dalam bangunan dan memberikan efek transfer panas secara konveksi dan radiasi pada bangunan, tetapi hasilnya bahwa kecenderungan radiasi mempengaruhi nilai konsumsi energi (Srhayri et al., 2022). Di Indonesia penelitian tentang balkon khususnya berkaitan dengan peformansi energi dari literatur review memiliki jumlah yang minim (Ribeiro et al., 2020). Beberapa penelitian balkon seperti pembahasan mengenai efek balkon terhadap peformansi angin (Ananta & Suryabrata, 2024; Kisanrini et al., 2018). *Shape factor* adalah sebuah bentuk denah yang memiliki volume dan luas permukaan berbeda, sehingga mempengaruhi kinerja energi pada bangunan (Ying & Li, 2020). Selain dari segi pembayangan eksternal, kepadatan bangunan sekitar dapat mempengaruhi radiasi yang terjadi pada selubung bangunan dan kinerja termal bangunan (Adi et al., 2020).

Balkon sangat berefek pada bangunan dari sisi konsumsi energi maupun sebagai sirkulasi udara, di daerah Indonesia penelitian belum banyak berkaitan dengan balkon terutapa berkaitan dengan peformansi energi (Ribeiro et al., 2020). Pada penelitian yang dilakukan di Teheran Iran, peforma balkon juga dapat mempengaruhi efisiensi energi terhadap radiasi matahari, tetapi panjang balkon tidak dapat mempengaruhi penurunan energi, sementara, balkon yang memiliki dinding partisi sangat efisien dalam pengurangan energi pada bangunan, tetapi pada balkon dengan konfigurasi tipe dalam, terjadi kenaikan konsumsi energi. (Mirabi & Nasrollahi, 2019), jika dilihat dari penelitian tersebut, balkon dengan tipologi dalam dan luar yang memiliki elemen pembayangan balkon seharusnya memiliki pengurangan energi yang tinggi karena memiliki sudut pembayangan VSA dan HSA pada bangunan (Dev et al., 2021). Pembayangan eksternal dapat juga mempengaruhi tingkat pencahayaan berlebihan pada bangunan (*Glare*) (Magri Elouadjeri et al., 2021), dan mempengaruhi penurunan energi pendinginan pada bangunan (Jaouaf et al., 2024).

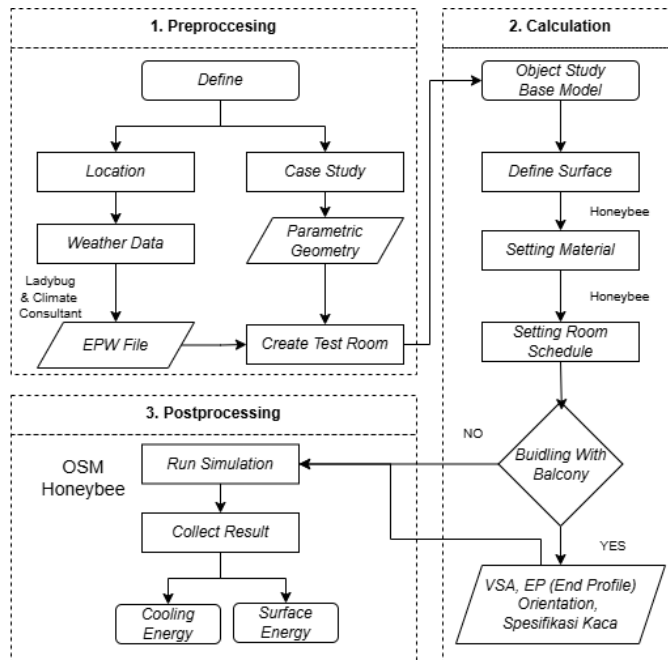
Metode Penelitian

Metode simulasi mengupayakan untuk mempresentasikan *empirical* di lapangan berkaitan dengan dunia asli secara *holistic*, baik pada lokasi maupun suatu kejadian, sehingga semakin banyak input data yang diberikan untuk simulasi maka tingkat akurasi akan semakin tinggi (Groat & Wang, 2013). pada metode simulasi juga mempermudah dan mempersingkat waktu untuk mendapatkan hasil dengan beberapa parameter untuk mendapatkan sebuah keputusan yang tepat dalam desain arsitektur, untuk mengetahui detail faktor penyebab hasil indikator yang di cari. Dominasi penataan balkon di Indonesia adalah dengan sistem *double loaded*. Simulasi dilakukan dengan menyederhanakan unit ruang uji, detail ukuran *baseline* ruang uji yaitu 5x6.5 meter yang memiliki luasan 32.5 m² (Gambar 2.a) dan ketinggian bangunan 2.8 (serta posisi balkon terdapat di tengah ruang. Letak unit berada di lantai 4, dan berada di tengah untuk netralitas ruang uji, dikarenakan hunian vertikal di Indonesia dominasi jumlah lantai pada bangunan adalah hingga 7 lantai (Prasetya et al., 2023). Metode simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Rhinoceros yang dilengkapi plugin Ladybug dan Honeybee, yang berfungsi untuk menjalankan mesin EnergyPlus. Kombinasi ini memungkinkan analisis yang komprehensif terhadap performa energi bangunan dengan mempertimbangkan parameter iklim yang diambil pada data bandara (EPW File) di Indonesia dan elemen desain seperti dinding, kaca, atap, dan lantai serta pembayang eksternal, sehingga menghasilkan hasil simulasi yang mendetail dan relevan untuk optimasi energi pada bangunan, beberapa penelitian berkaitan dengan peformansi energy balkon juga menggunakan software energy plus dan energy plus perangkat lunak simulasi energi dan termal bangunan yang dikembangkan oleh U.S. Department of Energy (DOE) untuk mengevaluasi dan menganalisis konsumsi energi, efisiensi termal, dan kenyamanan termal bangunan. (Mirabi & Nasrollahi, 2019)

Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data pertama dilakukan dengan simulasi hasil baseline dengan tanpa balkon, melihat peformansi bahwa dengan menggunakan parameter (Tabel 1) peformansi di dapatkan mendekati hasil penelitian (Surahman et al., 2022) berkaitan dengan rumah tinggal. Hasil dari simulasi penelitian ini mendapatkan konsumsi energi pada lighting sebesar 7,757 kWh/m² per tahun dan untuk konsumsi energi pada equipment load sebesar 42,165 kWh/m² pertahun, tetapi di asumsikan karena untuk menguji peformansi cooling energy pada bangunan maka untuk set AC di nyalakan 24 jam, tetapi dengan internal load berkaitan dengan jumlah penghuni yang berbeda dengan karakteristik rumah tinggal di pagi hari hingga siang hari intensitasnya lebih rendah dibandingkan dengan sore menuju malam hari, dimana peformansi internal load akan lebih besar pada waktu tersebut. *Baseline* akan di bandingkan dengan penelitian sebelumnya berkaitan dengan orientasi bangunan dan efek beberapa balkon. (Mirabi & Nasrollahi, 2019)

Proses Simulasi



Gambar 1 Alur Proses Simulasi dengan menggunakan *Ladybug & Honeybee* dengan *Software Model 3D Parametrik Rhinoceros*

Lokus penelitian terletak di Indonesia, tepatnya di Kota Jakarta dikarenakan di Jakarta memiliki kepadatan penduduk yang lebih tinggi dibandingkan bangunan lain, bangunan hunian vertikal menjadi alternatif pemanfaatan lahan, kondisi klimatologi menggunakan data yang telah dijabarkan pada (Tabel 1) Parameter Simulasi. Pemilihan Kota Jakarta bertujuan untuk mewakili kondisi iklim di wilayah lain. Dalam simulasi ini terdapat beberapa input parameter seperti halnya spesifikasi material, *scheduling* pada ruang, diharapkan hasil simulasi mendekati dengan keadaan empiris. Setelah itu parameter yang digunakan untuk analisis performansi balkon tipe dalam yaitu dengan parameter VSA, HSA, EP pada bentuk ruang (Tabel 1).

Parameter Penelitian

Lokasi penelitian simulasi ini terletak di wilayah Kota Jakarta menggunakan data *EPW file* di Jakarta. Jendela sebagai variabel tetap dengan tinggi dan panjang 1,5 x 2,8 meter dengan luasan 4,2 m² dan luas fasad bangunan 14 m², maka jika di kalkulasikan akan mendapatkan prosentase WWR sebesar 30%. Hal tersebut dikaitkan dengan typologi hunian balkon di Indonesia yang didominasi oleh WWR 20-30% (Prasetya et al., 2023), dalam hal ini WWR yang di gunakan yaitu dengan rasio WWR tertinggi, sebesar 30%. Properti simulasi yang lain seperti material dinding, menggunakan material hebel dengan *finishing* plester dengan nilai U-Value 1,024324, dan material kaca dengan spesifikasi material kaca *clear indofloat* ketebalan 6mm dengan nilai U-Value 5,7 dan SHGC sebesar 0,8352. *Equipment load* yang digunakan adalah sebesar 7,6 W/m² dan *lighting load* sebesar 3 W/m² untuk mendapatkan hasil konsumsi energi dari *Equipment* dan *lighting load* hampir sama mendekati angka seperti penelitian sebelumnya mengenai konsumsi energi pasca *covid* pada rumah tinggal (Surahman et al., 2022). Dalam penelitian ini nantinya akan disajikan hasil detail dari konsumsi energi pendinginan (*cooling energy*). *Infiltration* pada bangunan ditetapkan menggunakan koefisien sebesar 0,000302 sebagai bangunan yang huniannya sering untuk ditempati, dan *cooling heating setpoint* memiliki nilai 24 derajat Celsius, hal ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat performansi dari karakteristik balkon

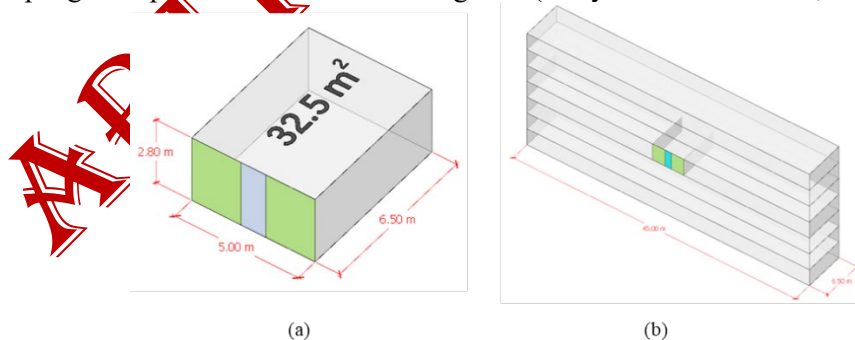
tipe dalam. Selanjutnya untuk bidang pembayang, ada dua parameter sebagai variabel tetap yaitu *solar reflection* atau SRI (Solar Reflective Index) diambil dari karakteristik dengan diasumsikan material beton yaitu dengan nilai 0,7. Selanjutnya untuk *Visual Reflectance* diasumsikan material tersebut berwarna putih dengan nilai 0,7.

Tabel 1 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
EPW_file	IDN_JW_Jakarta.Obs.967450
Luas jendela	h : 1,5m x p : 2,8 m (4,2 m ²)
Luas ruang uji	32,5 m ²
U-Value material hebel fin. plester	1,024324
U-Value material Kaca (clear indofloat 6mm)	5,7
SHGC material kaca (clear indofloat 6mm)	0.8352
People per area	0,123
Lighting Watts per area	3 W/m ²
Equipment Load	7,6 W/m ²
Infiltration (average building)	0,000302
Cooling/heating setpoint	24 derajat C
Shade Construction Solar Ref	0,7
Shade Construction Vis Ref	0,7

Object Penelitian

Berdasarkan penelitian sebelumnya, tipologi bangunan rusunawa di Indonesia memiliki banyak bentuk, topologi paling banyak digunakan di Indonesia yaitu bangunan yang bertingkat menengah dengan maksimal memiliki 7 lantai (Prasetya et al., 2023), dengan karakteristik memiliki balkon yang berada di dalam, di luar dan di semi luar. Penelitian ini akan membahas berkaitan dengan peformansi balkon bertipe dalam. Pada penelitian ini akan digunakan bangunan tipe 32,5m² dengan detail panjang 6,5 dan lebar 5 meter (Gambar 2.a). Unit pada penelitian ini berada pada lantai 4 dimana merupakan posisi lantai yang netral diantara total sebanyak 7 lantai (Gambar 2.b). Bentuk ruang uji ini akan digunakan untuk menguji peformansi awal bangunan tanpa adanya balkon, bagaimana bentuk atau pembayangan horizontal maupun pembayangan di depan balkon dapat mempengaruhi peformansi suatu unit bangunan. (Mulyani & Kholidasari, 2017)



Gambar 2 (a) Detail Ukuran Ruang Uji (b) Lokasi tempat unit pada hunian vertikal

Efisiensi Berdasarkan perubahan Spesifikasi Jenis Kaca

Perhitungan peformansi dengan mengganti spesifikasi kaca, yaitu kaca clear glass dengan spesifikasi 6mm, kaca low E Sun green dan Stopray, dimana ketiga jenis kaca tersebut memiliki spesifikasi kaca yang berbeda beda (Tabel 2), yang di ambil dari produk perusahaan PT Asahimas Flat Glass Tbk.

$$Efisiensi\ Jenis\ Kaca = \frac{Baseline\ Jenis\ Kaca - Hasil\ dengan\ jenis\ Kaca}{Baseline\ Jenis\ Kaca} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Total = \frac{Baseline\ Kaca\ Clear - Hasil\ dengan\ jenis\ Kaca}{Baseline\ Kaca\ Clear} \times 100\%$$

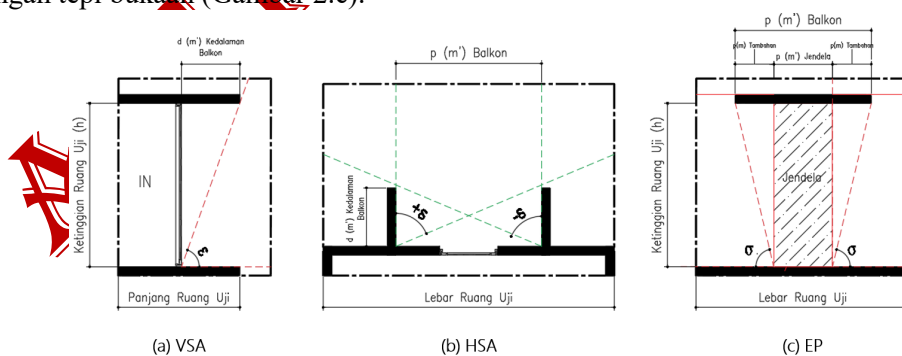
Penelitian ini akan menggunakan perhitungan efisiensi dengan dua metode, pertama efisiensi dengan menggunakan jenis kaca sesuai baseline dengan mengganti spesifikasi kaca yang sesuai dengan (Tabel 2), dan kedua dengan melihat Efisiensi total dimana melihat pengurangan efisiensi berdasarkan dengan baseline kaca clear (Gambar 6).

Tabel 2 Spesifikasi Kaca

Jenis Kaca	T-Visual (%)	SHGC (%)	U-Value (W/m ² .K)
Clear Glass Tebal 6mm	0,89	0,8352	5,7
Sunergy Green 6mm	0,56	0,529	4,1
Stopray Vision 3IT 6mm	0,31	0,253	1,6

Vertical Shadow Angel (VSA) dan End Point (EP)

Vertikal Shadow Angle (VSA) menunjukkan elemen pembayang horizontal (overhang) atau berupa panel horizontal. Performa elemen pembayang VSA ditunjukkan dengan nilai (ϵ), skala perimeter dari 0° hingga 90°. Elemen pembayang VSA (Gambar 2.a) akan lebih efektif ketika matahari dari sudut datang (angle of incidence) kecil, beberapa penelitian hanya menyebutkan kedalaman (VSA) maupun dari pembayangan vertikal saja Horizontal Shading Angle (HSA) (Gambar 2.b) (Dev et al., 2021) beberapa katalog “Sun Shading Catalogue Africa” memperlihatkan sudut *End Profile solar chart* pembayangan eksternal, melihat panjang dari *shading* eksternal dalam penelitian ini akan disebut *End Point* (EP). EP adalah penambahan panjang pembayang horizontal pada bagian tepi bukaan, dalam penelitian ini, objek bukaan adalah jendela, nilai EP dinyatakan 90 merupakan tidak ada tambahan panjang pada pembayangan horizontal yang tegak lurus dengan tepi bukaan (Gambar 2.c).



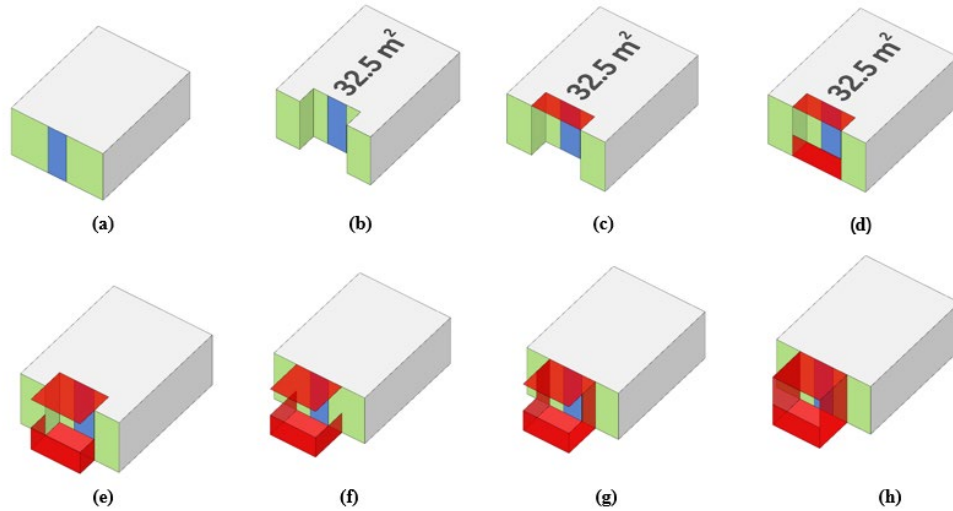
Gambar 3 (a) *Vertical Shading Angel (VSA)*, (b) *Horizontal Shading Angle*, (c) *End Profile (EP)*

Konfigurasi

Analisa dilanjutkan dengan beberapa percobaan dengan membandingkan pengaruh bentuk dengan variasi *shape factor* (Ying & Li, 2020; Zhang et al., 2017) mulai dari baseline 0,59,0,79 hingga 0,93. Pembayang horizontal, dan balkon lengkap dan dengan adanya *railing* pada balkon (Gambar 4), setelah itu melihat bagaimana efek kedalaman (d)

atau disebut dengan VSA (*Vertical Shading Angel*) dengan sudut kemiringan 70,60,50 derajat, serta EP panjang (p) dari balkon dengan kemiringan sudut 90, 85, 80, 75. Model penelitian ini memiliki 12 konfigurasi balkon yang dapat dilihat pada (Gambar 5)

Setelah konfigurasi dan bagian dari balkon dilakukan, hal selanjutnya adalah menentukan efek variasi kedua variable yang akan diuji dengan melakukan beberapa konfigurasi yang memiliki nilai interval yang sama, sehingga menghasilkan panjang dan kedalaman yang bervariasi dari balkon.



Gambar 4 Warna hijau : dinding eksterior , Merah : balkon, biru : kaca ; (a) Baseline (b) Bentuk, (c) Shading Horizontal, (d) Full Balkon, (e) Balkon Semi Luar, (f) Balkon Luar, (g) Balkon Kombinasi Semi Luar, (h) Balkon Kombinasi Dalam

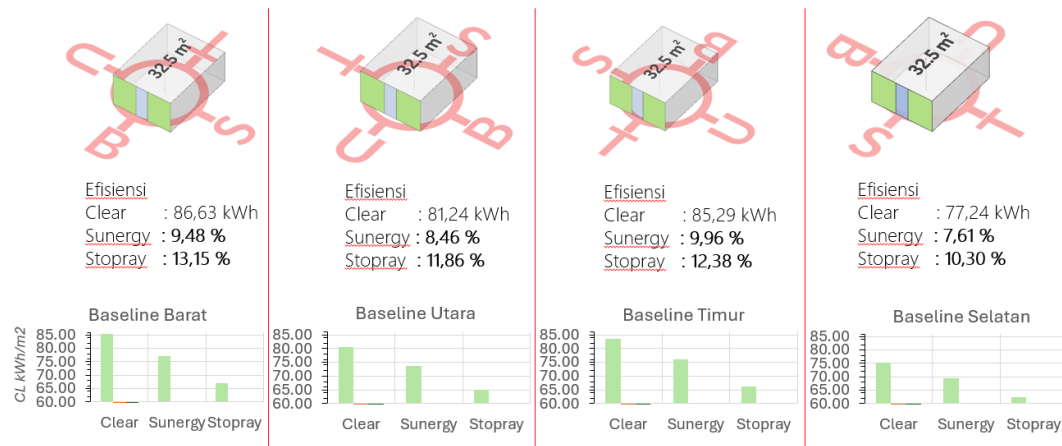
MODEL	No	VSA (Derajat)	EP (Derajat)	h (m')	p (m')	d (m')
Baseline	0	-	-	2,80	-	-
	1	70	90	2,80	1,50	1,02
	2	70	85	2,80	1,99	1,02
	3	70	80	2,80	2,49	1,02
	4	70	75	2,80	3,00	1,02
	5	60	90	2,80	1,50	1,62
	6	60	85	2,80	1,99	1,62
	7	60	80	2,80	2,49	1,62
	8	60	75	2,80	3,00	1,62
	9	50	90	2,80	1,50	2,35
	10	50	85	2,80	1,99	2,35
	11	50	80	2,80	2,49	2,35
	12	50	75	2,80	3,00	2,35

Gambar 5 Tabel Konfigurasi Panjang (p) dan Kedalaman (p) Balkon, Berdasarkan Sudut VSA & EP

Hasil dan Pembahasan

Baseline

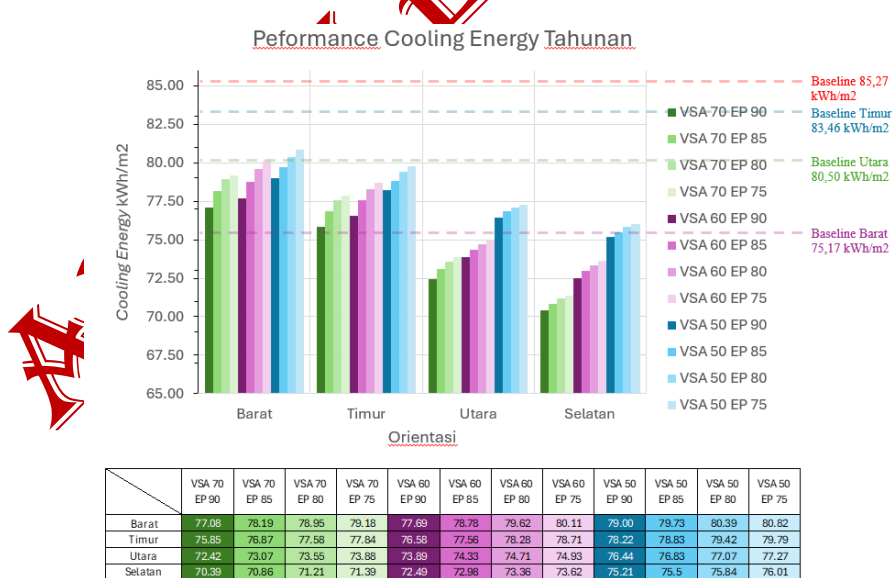
Tahap awal yang dilakukan pada penelitian ini yaitu melakukan simulasi dengan tanpa adanya EP dan VSA pada bangunan yang disebut sebagai *baseline* yang nantinya akan membentuk U-shape pada bentuk ruang. Hasil ini melihat dari hasil *cooling energy* (kWh/m^2). Hasil simulasi menunjukkan tiga sub komponen energi, yaitu *cooling energy* sebagai indikator diamati, *equipment energi* serta *lighting energy*. Dalam kondisi pasca *covid*, kenaikan konsumsi energi meningkat, penelitian ini menghasilkan *electric equipment* sebesar $42,165 \text{ kWh/m}^2$ dan *lighting electrical* sebesar $7,757 \text{ kWh/m}^2$, selanjutnya *cooling energy* akan menjadi indikator pengamatan.



Gambar 6 Hasil *Cooling Energy* pada orientasi Barat, Utara, Timur, Selatan per Tahun dan per Bulan pada bulan (Maret, Juni, Desember)

Melihat dari segi *baseline*, ditunjukkan bahwa pada orientasi Barat memiliki *cooling energy* sebesar 86,63 kWh/m², pada bagian Timur sebesar 85,29 kWh/m², Utara : 81,24 kWh/m² dan paling rendah yaitu pada orientasi Selatan sebesar 77,24 kWh/m² (Gambar 6). *Baseline* ini digunakan sebagai perbandingan efisiensi performansi energi pada ruangan, untuk melihat efek perubahan konfigurasi bentuk balkon berdasarkan HSA dan VSA balkon tipe dalam. Pengambilan hasil secara bulanan diambil untuk melihat efisiensi performansi *cooling energy* pada bulan-bulan tertentu. Spesifikasi kaca juga menjadi salah satu faktor dapat mempengaruhi penurunan *cooling energy* (CL) pada unit bangunan, dapat dilihat secara performansi penurunan pada tingkat spesifikasi kaca yang berbeda mempengaruhi kinerja *cooling energy* hingga 13%.

Performansi Balkon Tahunan pada Empat Orientasi



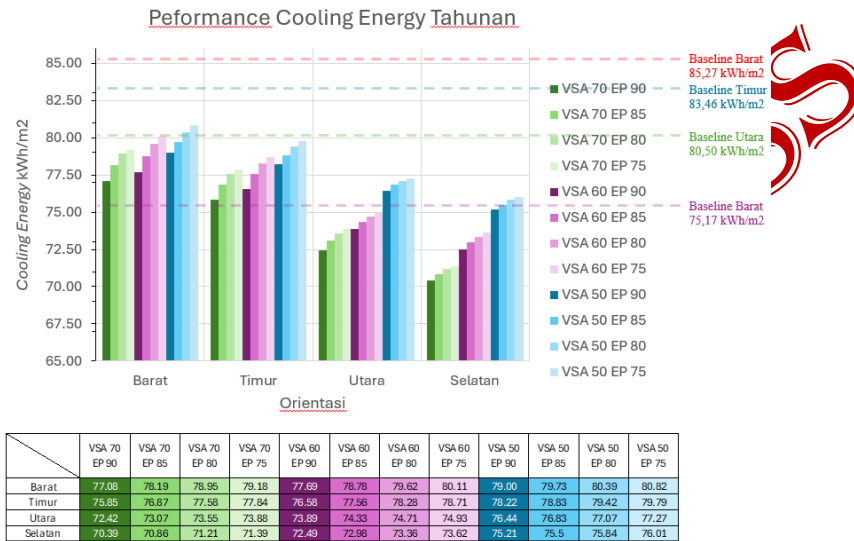
Gambar 7 Cooling Energy Tahunan pada Empat Orientasi

(Gambar 7) menunjukkan pengaruh balkon tipe dalam terhadap *cooling energy* yang dihasilkan, dimana performansi terendah ada pada bagian Barat, Timur, Utara, dan Selatan secara berturut-turut. Karakteristik EP 90 dan VSA 70 dengan nilai bagian Barat 77,08 kWh/m², Timur ; 75,85, Utara ; 72,42 dan Selatan sebesar 70,39. Ketika simulasi

dilakukan dengan memperkecil nilai EP dimana panjang (p) dari balkon bertambah panjang dan kedalamannya (d) semakin kedalam, sehingga mempengaruhi bentuk bangunan, nilai peformansi yang didapatkan lebih sedikit pada semua orientasi EP 75 dan VSA 50 dengan nilai bagian barat sebesar 80,82 kWh/m², Timur : 79,79 kWh/m², Utara : 77,27 kWh/m² dan Selatan sebesar 76,01 kWh/m² (Gambar 7).

Peformansi Balkon pada Maret

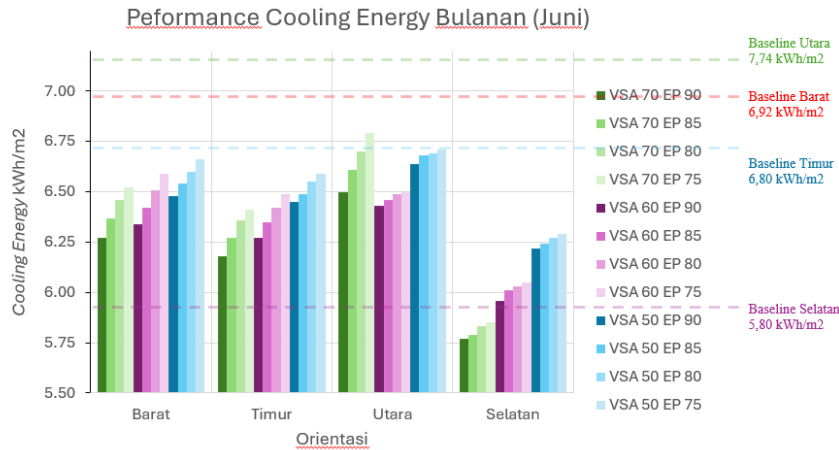
Indonesia memiliki perbedaan posisi matahari, dimana Matahari dan bumi berada pada orientasi yang tegak lurus pada bulan Maret, matahari cenderung ke arah utara pada bulan Juni dan cenderung ke arah Selatan pada bulan Desember. Maka dari itu perlu dilakukan simulasi tentang bagaimana peformansi energi pada bulan bulan tertentu.



Gambar 8 Cooling Energy per Bulan (Maret) pada Empat Orientasi

Bulan Maret merupakan sumbu garis edar dimana matahari memiliki titik azimuth tegak lurus pada bangunan, pada tanggal 30 Maret, titik azimuth sebesar 65,57 derajat, pada tanggal 1 Maret sebesar 94,32 derajat, dan pada tanggal 22 Maret memiliki azimuth 75,40 derajat, dimana cenderung memiliki orientasi yang tegak lurus dengan fasad bangunan. Memperhatikan dari kondisi tersebut, hasil menunjukkan bahwa peforma dengan penambahan balkon, peformansi bagian barat dan timur memiliki hasil *cooling energy* berturut-turut hingga 6,37 kWh/m² per bulan dan 6,19 kWh/m² per bulan. Keduanya memiliki karakteristik VSA 70 dan EP 90 (Gambar 8). *Cooling energy* pada sisi selatan dan utara juga memiliki penurunan yang setara dengan baseline, penurunan pada VSA 70 dan EP 90 dengan nilai 5,68 kWh/m² pada bagian Utara dan 5,65 kWh/m² pada bagian Selatan. VSA dengan nilai 50 pada empat orientasi cenderung memiliki pefromansi *cooling energy* yang sama atau lebih tinggi daripada *baseline*.

Peformansi Balkon pada Bulan Juni

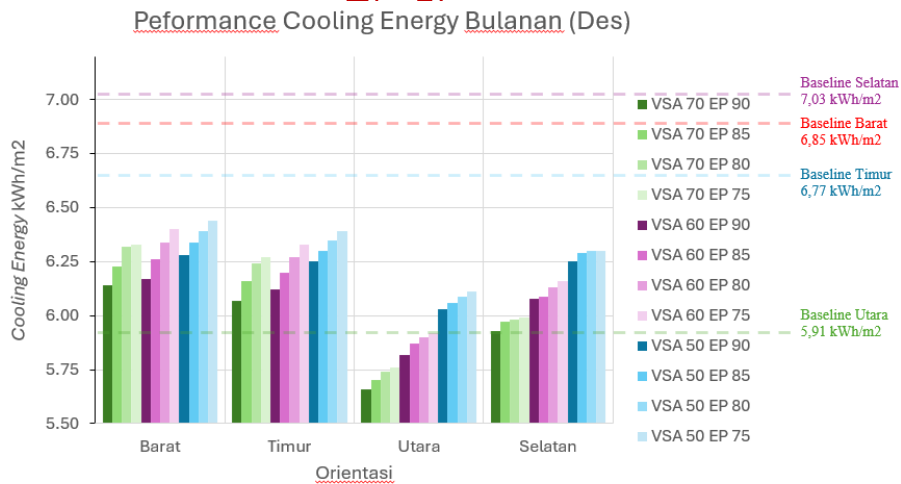


	VSA 70 EP 90	VSA 70 EP 85	VSA 70 EP 80	VSA 70 EP 75	VSA 60 EP 90	VSA 60 EP 85	VSA 60 EP 80	VSA 60 EP 75	VSA 50 EP 90	VSA 50 EP 85	VSA 50 EP 80	VSA 50 EP 75
Barat	6.27	6.37	6.46	6.52	6.34	6.42	6.51	6.59	6.48	6.54	6.60	6.66
Timur	6.18	6.27	6.36	6.41	6.27	6.35	6.42	6.49	6.45	6.49	6.55	6.59
Utara	6.50	6.61	6.7	6.79	6.43	6.46	6.49	6.5	6.64	6.68	6.69	6.71
Selatan	5.77	5.79	5.83	5.85	5.96	6.01	6.03	6.05	6.22	6.24	6.27	6.29

Gambar 9 Cooling Energy per Bulan (Juni) pada Empat Orientasi

Pada bulan Juni, matahari cenderung berada diposisi Utara, dibandingkan dengan orientasi Barat, Timur, dan Selatan (Gambar 9), berdasarkan hal tersebut hasil menunjukkan bahwa perubahan yang paling signifikan berada pada simulasi dengan karakteristik EP 90 dan VSA 70 dengan nilai 6,50 kWh/m² per bulan.

Peformansi Balkon pada Bulan Desember



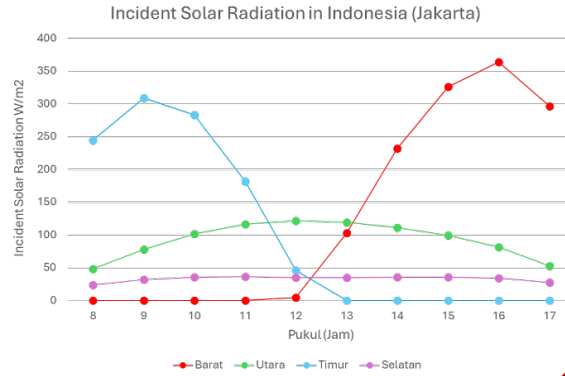
	VSA 70 EP 90	VSA 70 EP 85	VSA 70 EP 80	VSA 70 EP 75	VSA 60 EP 90	VSA 60 EP 85	VSA 60 EP 80	VSA 60 EP 75	VSA 50 EP 90	VSA 50 EP 85	VSA 50 EP 80	VSA 50 EP 75
Barat	6.14	6.23	6.32	6.33	6.17	6.26	6.34	6.40	6.28	6.34	6.39	6.44
Timur	6.07	6.16	6.24	6.27	6.12	6.2	6.27	6.33	6.25	6.3	6.35	6.39
Utara	5.66	5.7	5.74	5.76	5.82	5.87	5.9	5.92	6.03	6.06	6.09	6.11
Selatan	5.93	5.97	5.98	5.99	6.08	6.09	6.13	6.16	6.25	6.29	6.3	6.3

Gambar 10 Cooling Energy per Bulan (Des) pada Empat Orientasi

Melihat tren pada bulan Desember sama seperti bulan-bulan lainnya, pada konfigurasi EP 90 dan VSA 70 memiliki nilai cooling energy 5,93 kWh/m² per bulan,

konfigurasi tersebut tetap berada dipeformansi paling optimal dari 12 konfigurasi yang ada, menunjukkan semakin kecil sudut VSA, diikuti dengan nilai *cooling energy* yang meningkat.

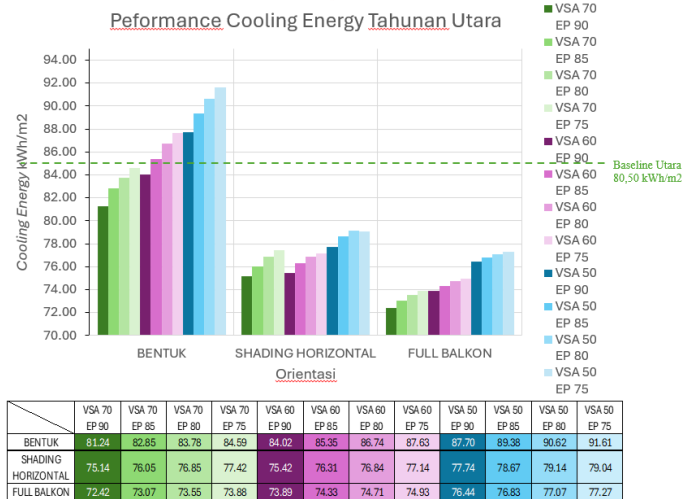
Pemilihan Orientasi untuk Melihat Detail Peformansi Balkon



Gambar 11 Incident Solar Radiasi Matahari

Orientasi Utara merupakan orientasi yang terpapar rata menerima *incident solar radiasi* matahari langsung pada ruangan setiap jam per tahun (Gambar 11), orientasi ini akan melihat titik detail apa yang mempengaruhi peformansi balkon, terutama kenaikan pada *cooling energy* pada balkon.

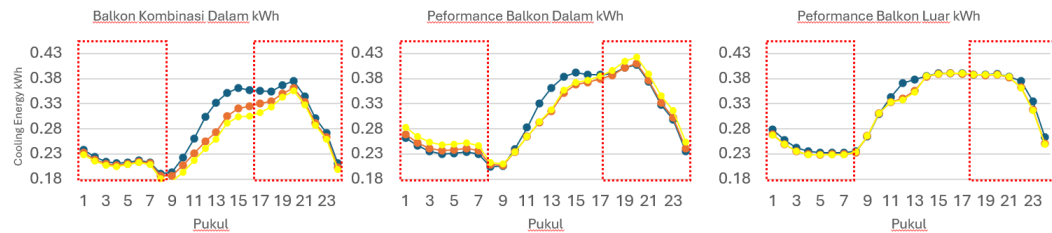
Pengaruh elemen bentuk dan pembayangan pada balkon tipe dalam



Gambar 12 Pengaruh Bentuk, Pembayang Horizontal dan Railing Balkon Terhadap CE

Bentuk mempengaruhi peformansi cooling energy pada unit bangunan, dapat di lihat pada grafik (Gambar 13) melihat bahwa balkon konfigurasi dalam memiliki karakteristik HSA yang semakin kecil nilai HSA (Gambar 5) maka peformansi *cooling energy* akan semakin turun pada pagi hari hingga sore hari pukul 09.00 pagi hingga 17.00 sore, kemudian ketika pada pukul 17.00 hingga 08.00 pagi peformansi berubah (Gambar 14), dimana semakin kecil nilai HSA maka peformansi dari *cooling energy* di malam hari akan semakin meningkat. Balkon kombinasi dalam dan luar memiliki peformansi yang

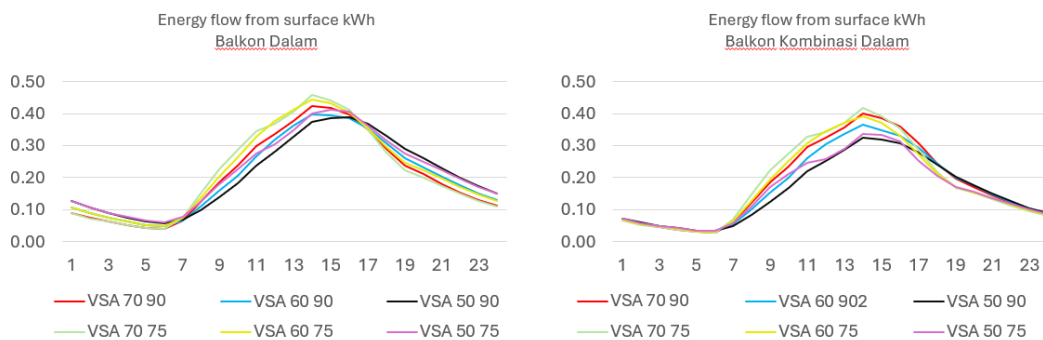
berbeda dengan balkon dalam, dimana balkon luar dan kombinasi dalam dilihat pada grafik menunjukkan semakin kecil nilai HSA maka sepanjang hari peformansi tetap stabil di bandingkan dengan balkon konfigurasi dalam.



Gambar 13 Pengaruh Kedalaman (d) Terhadap *Cooling Energy*, *Shape Factor* dan Radiasi

Energy Flow pada Karakteristik Balkon

Pembahasan pada sub bab ini berkaitan dengan *energy flow* pada permukaan fasad unit bangunan,, dapat dilihat peformansi *energy flow* pada permukaan dinding meilihatkan dengan nilai VSA dan EP yang lebih rendah dapat mengurangi paparan sinar radiasi matahari langsung ,sehingga mengurangi beban eksternal yang masuk kedalam bangunan, tetapi pada malam hari dengan balkon yang merubah bentuk unit (balkon dalam) nilai *Energy flow* pada permukaan fasad di malam hari makin tinggi dengan karakteristik VSA dan EP yang rendah, (*Gambar 14*). Berbeda dengan balkon dengan kombinasi dalam dimana tidak ada perubahan bentuk pada unit memberikan efisiensi Ketika nilai EP dan VSA semakin kecil maka balkon sebagai pembayangan eksternal memberika pengaruh *energy flow* pada permukaan yang lebih rendah



Gambar 14 Energy Flow (kWh) pada permukaan dinding fasad unit

Efisiensi Pengaruh Perubahan Spesifikasi Kaca

Pengaruh mempengaruhi kinerja performansi unit ruangan, dimana semakin memiliki nilai VSA yang kecil maka efisiensi akan semakin kecil (*Gambar 14*). Peformansi pada kaca stopray ketika adanya penambahan pembayangan balkon tidak mengalami peningkatan efisiensi. Beberapa mengalami penurunan efisiensi pada balkon dalam ketika menggunakan kaca stopray, dikarenakan kaca stopray awalnya memiliki baseline yang tinggi hingga 13% (*Gambar 6*). Tetapi jika balkon sebagai pembayangan tanpa mengubah bentuk dari unit balkon peformansi meningkat hingga 6% dari penggunaan kaca stopray tetapi hasil ini tidak begitu signifikan. Dengan adanya performansi konduktifitas pada malam hari seiring perubahan bentuk ruang dengan penambahan kedalaman balkon (*Gambar 13*) sebaiknya dilakukan tanpa merubah bentuk ruang unit karena mempengaruhi performansi *cooling energy* pada bangunan.

1. Efisiensi Berdasarkan Baseline Spesifikasi Kaca

Utara Clear	VSA 70 EP 90	VSA 60 EP 90	VSA 50 EP 90
Balkon Dalam	10.04	8.21	5.04
Balkon Semi Luar	10.98	10.89	10.50
Balkon Luar	9.78	9.54	9.72
Kombinasi Semi Luar	14.14	16.05	18.04
Kombinasi Dalam	16.99	18.89	20.56

a.1

Utara Sunergy	VSA 70 EP 90	VSA 60 EP 90	VSA 50 EP 90
Balkon Dalam	5.35	2.56	-1.49
Balkon Semi Luar	7.37	6.59	5.43
Balkon Luar	7.78	7.61	7.75
Kombinasi Semi Luar	11.02	12.39	13.82
Kombinasi Dalam	13.08	14.39	15.59

b.1

Utara Stopray	VSA 70 EP 90	VSA 60 EP 90	VSA 50 EP 90
Balkon Dalam	-1.56	-5.69	-10.94
Balkon Semi Luar	1.96	0.20	-1.97
Balkon Luar	4.67	4.62	4.71
Kombinasi Semi Luar	6.38	7.06	7.85
Kombinasi Dalam	7.44	8.06	8.69

c.1

2. Efisiensi Berdasarkan Baseline Spesifikasi Kaca Clear

Utara Clear	VSA 70 EP 90	VSA 60 EP 90	VSA 50 EP 90
Balkon Dalam	10.04	8.21	5.04
Balkon Semi Luar	10.98	10.89	10.50
Balkon Luar	9.78	9.54	9.72
Kombinasi Semi Luar	14.14	16.05	18.04
Kombinasi Dalam	16.99	18.89	20.56

a.2

Utara Sunergy	VSA 70 EP 90	VSA 60 EP 90	VSA 50 EP 90
Balkon Dalam	13.36	10.81	7.10
Balkon Semi Luar	15.21	14.49	13.44
Balkon Luar	15.59	15.43	15.56
Kombinasi Semi Luar	18.55	19.80	21.11
Kombinasi Dalam	20.43	21.64	22.74

b.2

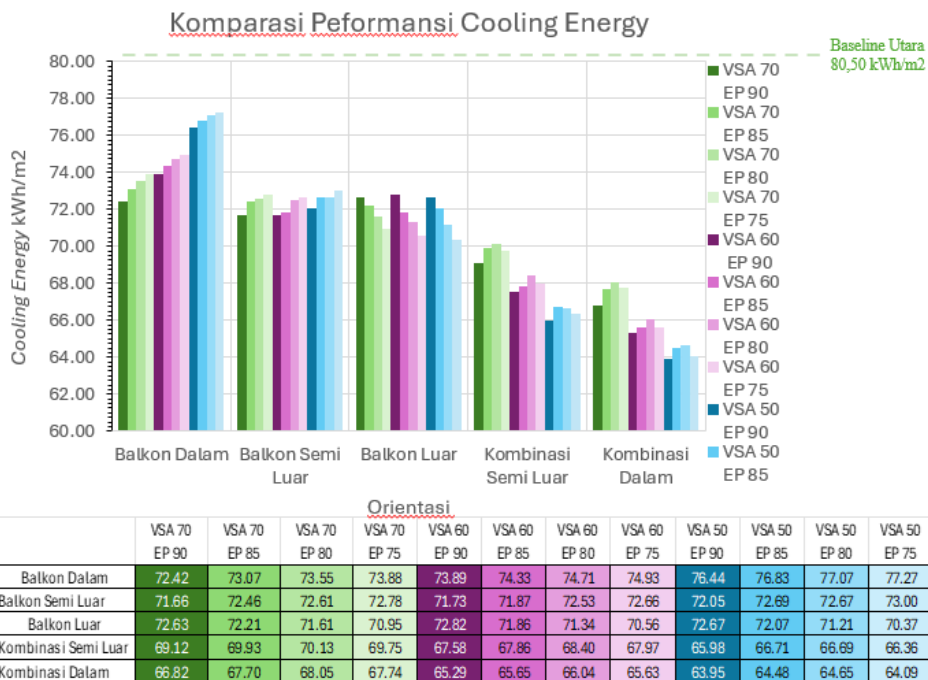
Utara Stopray	VSA 70 EP 90	VSA 60 EP 90	VSA 50 EP 90
Balkon Dalam	18.06	14.73	10.49
Balkon Semi Luar	20.90	19.48	17.73
Balkon Luar	23.09	23.04	23.12
Kombinasi Semi Luar	24.46	25.01	25.65
Kombinasi Dalam	25.32	25.82	26.33

c.2

Gambar 15 Efisiensi Penurunan Peformansi Cooling Energy Berdasarkan Spesifikasi Kaca a,b,c.1 merupakan efisiensi basline sesuai spesifikasi kaca, a,b,c.2 merupakan efisiensi dari baseline kaca clear.

Komparasi Balkon Dalam, Luar, dan Semi Luar

Tahapan selanjutnya melihat peformansi pengurangan energi dari beberapa tipe balkon, yaitu balkon Dalam, Semi Luar, dan Balkon Luar, serta di tambahkan kombinasi balkon semi luar, dan kombinasi balkon dalam, dari hasil melihat, tipologi yang serupa balkon dalam lebih efektif ketika diletakkan di luar ruang uji unit, dimana pengurangan energi lebih tinggi dibandingkan adanya perubahan bentuk dari unit ruang uji. Dapat di lihat peformansi pengurangan energy pada balkon dalam terendah memiliki nilai 72,42 kWh/m² ,dan pada kombinasi terlihat pada konfigurasi VSA 50 dan EP 75 memiliki nilai VSA 50 EP 90. Pada balkon dalam semakin berkurang nilai VSA dan EP maka peformansinya meningkat, lain halnya dengan kombinasi balkon dalam.



Gambar 16 Komparasi Balkon Dalam, Luar, Kombinasi Semi Luar, Kombinasi Dalam

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan simulasi dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan balkon dapat menurunkan peformansi *cooling energy*. Strategi implikasi yang di sarankan dalam penelitian ini yaitu

1. Orientasi Utara dan Selatan merupakan orientasi yang cukup optimal untuk mengurangi peformansi energy pada bangunan, khususnya di Indonesia.
2. Penggunaan balkon dengan sebagainya digunakan dalam bentuk pembayangan eksternal tanpa merubah bentuk unit bangunan.
3. Penggunaan VSA dan HSA yang semakin kecil nilainya, tanpa merubah bentuk dari unit balkon memiliki peformansi yang baik dalam mengurangi peformansi *cooling energy* pada unit bangunan.
4. Pengaruh perubahan kaca dengan nilai U-value nilai lebih rendah mempengaruhi peformansi *energy cooling* pada unit bangunan, jika pada peformansi balkon dalam sebaiknya ketika penggunaan menggunakan kaca Stopray atau dengan nilai U-Value dan SHGC rendah tidak perlu adanya balkon pembayang eksternal pada unit bangunan.
5. Tetapi untuk balkon dengan pembayangan eksternal seperti balkon luar dan kombinasi, dengan adanya eksternal shading tambahan dapat mempengaruhi peningkatan peformansi pada unit bangunan.

Peformansi energi terbesar dengan tipe bangunan tanpa balkon terjadi pada orientasi sebelah barat, dan paling rendah pada orientasi sebelah selatan, balkon dalam akan meningkatkan *cooling energy* ketika dilakukan penambahan panjang (p) dan kedalaman (d) pada balkon. Beberapa percobaan melihat, bahwa ketika melihat dari elemen bentuk balkon dalam akan mempengaruhi bentuk pada ruang unit, semakin kedalam (semakin kecil nilai VSA dan HSA) dan semakin panjang ukuran balkon akan menurunkan peformansi *cooling energy* pada bangunan. Komparasi dilakukan dengan membandingkan tipologi balkon luar, semiluar dan balkon kombinasi, di dapatkan peformansi balkon luar memiliki tren yang berbeda dengan balkon dalam. Hal tersebut terjadi pada balkon dalam dikarenakan dengan menambahkan panjang dan kedalaman maka akan menambah fasad dinding eksternal, serta akan mempengaruhi bentuk pada ruang unit. Penambahan elemen pembayang horizontal dan elemen railing “full balkon”, mempengaruhi efisiensi peformansi, melihat grafik yang telah disajikan, bahwa penambahan tersebut membuat bentuk U dan memiliki peformansi *cooling energy* di bawah peformansi *baseline* dimana sebelumnya peformansi elemen bentuk balkon (tanpa adanya pembayang horizontal dan railing nilai *cooling energy* meningkat bahkan melebihi *baseline* (Gambar 12) ,Selain itu jika pembentukan penghematan tipologi yang sama dengan balkon dalam yaitu dengan tipe kombinasi balkon dalam, dimana peformansi energi kombinasi balkon dalam dapat memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan balkon dalam dengan merubah bentuk unit ruang (Gambar 15).

Rekomendasi penelitian lanjutan

Bahwa penelitian ini memiliki keterbatasan dan keterbatasan tersebut akan menjadi rekomendasi penelitian lanjutan sebagai berikut ;

1. Perhitungan nilai konstruksi agar mendapatkan berapa lama efisiensi *cooling energy* mengembalikan biaya investasi tambahan pada biaya penambahan balkon.
2. Perhitungan *embodied* karbon pada unit bangunan.
3. Detail peformansi pada permukaan kedalaman bentuk bangunan pada permukaan dinding eksterior.
4. Sepanjang pengetahuan penulis Energy tidak dapat mengukur peformansi tanpa mendefinisikan ruang dalam. Pencahayaan alami juga menjadi faktor penting, dan dapat di lakukan simulasi untuk melihat peformansi dari pencahayaan alami pada unit bangunan.

Daftar Pustaka

- Adi, A. R., Suryabrata, J. A., & Pradipto, E. (2020). OPTIMIZING SHADING DEVICES THROUGH THE SHADING EFFECT OF SURROUNDING BUILDINGS. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 46(2), 79–86. <https://doi.org/10.9744/dimensi.46.2.79-86>
- Ananta, B. S., & Suryabrata, J. A. (2024). Pengaruh Konfigurasi Balkon Terhadap Performa Kinerja Ventilasi Alami Dalam Ruangan Pada Bangunan Rusunawa Di Indonesia. *Arsir*, 8(1), 37–50. <https://doi.org/10.32502/arsir.v8i1.128>
- Becerik-Gerber, B., Siddiqui, M. K., Brilakis, I., El-Anwar, O., El-Gohary, N., Mahfouz, T., Jog, G. M., Li, S., & Kandil, A. A. (2014). Civil Engineering Grand Challenges: Opportunities for Data Sensing, Information Analysis, and Knowledge Discovery. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(4), 04014013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000290](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000290)
- Chandra, M. S., Nandapala, K., Priyadarshana, G., & Halwatura, R. U. (2019). Developing a durable thermally insulated roof slab system using bamboo insulation panels. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 10(4), 511–522. <https://doi.org/10.1007/s40095-019-0308-x>
- Dev, G., Saifudeen, A., & Sathish, A. (2021). Facade control systems for optimal daylighting: A case of Kerala. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 850(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/850/1/012014>
- Gil-Lopez, T., & Gimenez-Molina, C. (2013). Environmental, economic and energy analysis of double glazing with a circulating water chamber in residential buildings. *Applied Energy*, 101, 572–581. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.055>
- Hendrik, M. L., & Tualaka, T. M. C. (n.d.). *Penerapan Double Skin Façade Sebagai Strategi Efisiensi Energi Bangunan di Daerah Beriklim Tropis*.
- Jaouaf, S., Bensad, B., & Habib, M. (2024). Passive strategies for energy-efficient educational facilities: Insights from a mediterranean primary school. *Energy Reports*, 11, 3653–3683. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.03.040>
- Kisnatini, R., Krisdianto, J., & Indrawan, I. A. (2018). Contribution of balcony of Rusunawa Surabaya on the use of space. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 213, 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/213/1/012039>
- Magri Elouadjeri, S., Boussoualim, A., & Ait Haddou, H. (2021). Evaluating the Effect of External Horizontal Fixed Shading Devices' Geometry on Internal Air Temperature, Daylighting and Energy Demand in Hot Dry Climate. Case Study of Ghardaïa, Algeria. *Buildings*, 11(8), 348. <https://doi.org/10.3390/buildings11080348>
- Mallick, F. H. (n.d.). *Thermal comfort and building design in the tropical climates*.

- Mirabi, E., & Nasrollahi, N. (2019). Balcony Typology and Energy performance in Residential Buildings. *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, 9(12). <https://doi.org/10.31873/IJETR.9.12.40>
- Mohamed, M. F., Prasad, D., King, S., & Hirota, K. (2009). *The Impact of Balconies on Wind Induced Ventilation of Single- sided Naturally Ventilated Multi-storey Apartment*.
- Mulyani, R., & Kholidasari, I. (2017). *The Impact of Building Orientation on Energy Use: A Case Study in Bung Hatta University, Indonesia*. 11(1).
- Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B. R., & Drogemuller, R. (2017). On the effect of provision of balconies on natural ventilation and thermal comfort in high-rise residential buildings. *Building and Environment*, 123, 504–516. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.016>
- Prasetya, A., Ho, A. D., & Kubota, T. (2023). Analysis of Typical Layout of Apartment Buildings in Indonesia. *Buildings*, 13(6), 1387. <https://doi.org/10.3390/buildings13061387>
- Ribeiro, C., Ramos, N. M. M., & Flores-Colen, I. (2020). A Review of Balcony Impacts on the Indoor Environmental Quality of Dwellings. *Sustainability*, 12(16), 6453. <https://doi.org/10.3390/su12166453>
- Saliim, A. M., & Satwikasari, A. F. (2022). *Kajian Konsep Desain Arsitektur Tropis Modern pada Bangunan Rusunawa di Kota Madiun*. 6(2).
- Srhayri, I., Hafs, H., & Bah, A. (2022). Effect analysis of U-shape exterior walls on energy consumption of building: The case of Morocco. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 30(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s44189-022-00007-3>
- Surahman, U., Hartono, D., Setyowati, E., & Jurizat, A. (2022). Investigation on household energy consumption of urban residential buildings in major cities of Indonesia during COVID-19 pandemic. *Energy and Buildings*, 261, 111956. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111956>
- Surahman, U., Maknun, J., & Krisnanto, E. (2017). Survey on household energy consumption of public apartments in Bandung City, Indonesia. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(3). <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2017i3.2449>
- Suryandono, A. R., & Novitasari, L. N. (2024). Temperature Reduction Performance and Economic Value of Aluminum Mini Louvers. *Jurnal Arsitektur*, 14(1), 59. <https://doi.org/10.36448/ja.v14i1.3389>
- Ying, X., & Li, W. (2020). Effect of Floor Shape Optimization on Energy Consumption for U-Shaped Office Buildings in the Hot-Summer and Cold-Winter Area of China. *Sustainability*, 12(5), 2079. <https://doi.org/10.3390/su12052079>
- Zhang, H., Pan, Y., & Wang, L. (2017). Influence of plan shapes on annual energy consumption of residential buildings. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(07), 1178–1191. <https://doi.org/10.2495/SDP-V12-N7-1178-1191>