

Pengaruh Morfologi Blok Perkotaan Terhadap Konsumsi Energi Bangunan Komersial, Studi Kasus: Kota Palu, Indonesia



Neyman Pearson Tanari^{a,1}, Nedyomukti Imam Syafii^{b,2}

^a Magister Arsitektur, Departemen Arsitektur dan Perencanaan, Universitas Gadjah Mafa, Yogyakarta Indonesia

^b Departemen Arsitektur dan Perencanaan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

¹ neymanpearsontanari@mail.ugm.ac.id; ² nedyomukti@ugm.ac.id

Submitted: December 27, 2023 | Revised: February 09, 2024 | Accepted: March 04, 2024

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi global yang semakin meningkat menjadi salah satu isu dalam penghematan energi pada sebuah bangunan, tidak terkecuali pada blok perkotaan yang dimana antar bangunan dan bangunan lainnya dapat saling mempengaruhi. Morfologi blok perkotaan dengan parameter yang kompleks dapat mempengaruhi kinerja energi bangunan pada skala blok. Akan tetapi, pada sisi lain analisis efek gabungan dari parameter morfologi blok perkotaan pada konsumsi energi bangunan masih kurang. Dalam penelitian ini, memiliki tujuan untuk melihat metode serta hasil dari pengaruh morfologi blok perkotaan pada konsumsi energi bangunan. Pertama, alur kerja pada penelitian untuk penilaian energi blok perkotaan dengan parameter geometri sebagai dasar dalam simulasi energi. Sampel model blok perkotaan yang dibentuk, merupakan plot bangunan berupa *hypothetical district* bangunan perkantoran, yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan *site coverage* dan *building height*. Setelah itu, penggunaan parameter geometri untuk mengevaluasi dan mendapatkan nilai *Energy Use Intensity* (EUI) pada setiap sampel model blok perkotaan untuk dianalisis. Kemudian, efek gabungan dari morfologi blok perkotaan dan parameter geometri terhadap konsumsi energi bangunan dievaluasi dan melihat seberapa besar dampaknya yang diakibatkan dalam perubahan nilai penggunaan energi bangunan. Hasil dan analisis menunjukkan bahwa kepadatan serta ketinggian bangunan dapat secara langsung berpengaruh terhadap konsumsi energi bangunan. Peningkatan nilai parameter *site coverage* dan *building height* memiliki pengaruh yang positif terhadap penurunan nilai EUI.

Kata Kunci: konsumsi energi bangunan, morfologi perkotaan, kepadatan perkotaan, parameter geometri

ABSTRACT

The increasing global energy demand has become one of the issues in energy saving in buildings, not least in urban blocks where buildings and other buildings can influence each other. Urban block morphology with complex parameters can affect the energy performance of buildings at the block scale. However, on the other hand, analysis of the combined effect of urban block morphology parameters on building energy consumption is still lacking. In this study, the aim is to examine the methods and results of the effect of urban block morphology on building energy consumption. First, the research workflow for urban block energy assessment with geometry parameters as the basis for energy simulation. The sample urban block model formed is a building plot in the form of a hypothetical district of office buildings, which is then classified based on site coverage and building height. After that, the use of geometry parameters to evaluate and obtain the Energy Use Intensity (EUI) value for each sample urban block model is analyzed. Then, the combined effects of urban block morphology and geometry parameters on building energy consumption are evaluated and see how much impact they have in changing building energy use values. The results and analysis show that building density and height can directly affect building energy consumption. Increasing the values of site coverage and building height parameters has a positive influence on decreasing the EUI value.

Keywords: *building energy consumption, urban morphology, urban density, geometric parameters*

This is an Open-Access article distributed under the CC-BY-SA license

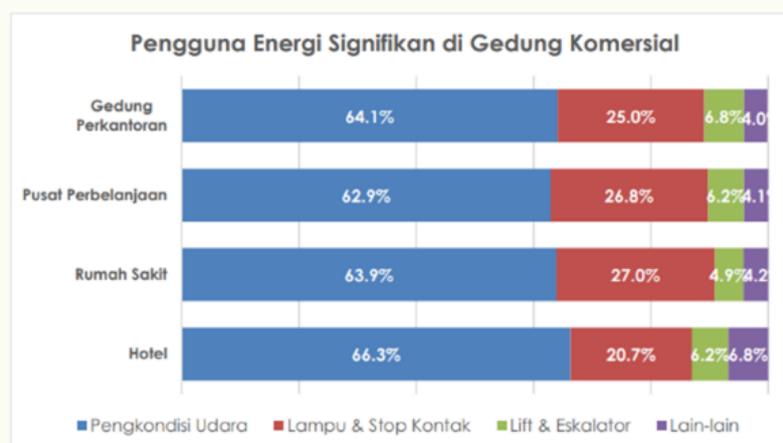


PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, urbanisasi secara signifikan meningkatkan kebutuhan kota yang dimana hal ini dimaksudkan untuk menampung penduduk yang masuk dalam kota tersebut. Perkembangan kota yang signifikan juga dapat memicu peningkatan intensitas *urban heat island* (UHI), yang mana merupakan fenomena perbedaan suhu udara pada kawasan perkotaan yang lebih tinggi dibandingkan dari suhu daerah pedesaan disekitar perkotaan tersebut. Suhu perkotaan yang tinggi akan berdampak serius terhadap permintaan energi bangunan, terutama untuk AC bangunan [1].

Peningkatan kebutuhan energi dunia terus meningkat tiap tahunnya, mengakibatkan dunia sedang dalam krisis ekonomi global yang pertama [2]. EIA (Energy Information Administration) dalam analisisnya menjelaskan bahwa pada tahun 2050 yang akan datang konsumsi energi dunia akan mencapai angka 886.3 *quadrillion* Btu, dimana pada tahun 2023 konsumsi energi dunia berada diangka 649.2 *quadrillion* Btu. Dari analisis tersebut diketahui bahwa akan ada peningkatan konsumsi energi dunia sebesar 237.1 *quadrillion* Btu pada tahun 2050 (<http://www.eia.com/>). Salah satu indikasi yang menjadi pemicu dari peningkatan kebutuhan energi dunia adalah pertumbuhan penduduk dunia, dimana dalam lima puluh tahun terakhir peningkatan pertumbuhan penduduk dunia lebih dari 240 juta jiwa di seluruh dunia. Menurut data dari EIA, pada tahun 2022 produksi energi dunia mencapai angka 102.92 *quadrillion* Btu, serta konsumsi energi dunia mencapai 100.41 *quadrillion* Btu, artinya konsumsi energi dunia telah mendekati produksi energi dunia. Sekitar 80% energi yang digunakan bersumber dari fosil yang ketersediannya terus berkurang serta tidak dapat diperbaharui.

Energi Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia pada saat ini. Perkembangan zaman menuntut manusia bergantung pada energi listrik tiap harinya, menjadikan energi listrik sebagai kebutuhan sehari-hari. Setiap bangunan atau gedung dengan fungsinya masing-masing pasti membutuhkan energi listrik. Tidak terkecuali bangunan komersial seperti perkantoran atau pusat perbelanjaan yang sangat membutuhkan energi listrik. Pada pembagiannya energi listrik tersebut digunakan untuk penerangan, komputasi dalam bekerja, pendingin ruangan serta alat perkantoran lainnya. Menurut data dari Benchmarking Specific Energy Consumption di Bangunan Komersial yang dikeluarkan oleh Balai Besar Teknologi Konversi Energi B2TKE-BPPT tahun 2020 yang dapat dilihat pada **Gambar 1**, menjelaskan bahwa konsumsi energi listrik terbesar bangunan komersial pada pengkondisian udara, kemudian sistem penerangan dan stop kontak. Penggunaan energi listrik jenis gedung perkantoran pada pengkondisian udara sebesar 64.1%, dan pada sistem penerangan dan stop kontak sebesar 25%.



Gambar 1. Penggunaan energi pada bangunan komersial.

(Sumber: B2TKE-BPPT, 2020).

Menjadi semakin penting untuk mempelajari mengenai blok perkotaan serta menerapkan temuan yang ada dalam mengurangi konsumsi energi di daerah perkotaan. Artikel ini mensimulasikan blok perkotaan dengan indikator serta parameter yang telah ditentukan, dimana salah satunya mengambil referensi dari Peraturan Daerah Kota Palu Nomor 16 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Palu Tahun 2010-2030, hal ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat dan mendiskusikan dampak dari kepadatan perkotaan terhadap konsumsi energi di kota Palu, Sulawesi Tengah.

Studi kuantitatif mengenai hubungan antara bentuk kota dan penggunaan energi bangunan. Indikator morfologi dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: kepadatan, geometri dan tipe bangunan. Kepadatan merupakan faktor kunci yang mengendalikan intensitas pembangunan pada lahan perkotaan. Para peneliti pada umumnya menggunakan indikator *Floor Area Ratio* (FAR), *Building Density* (BD), *Open Space Rate* (OSR) dan *The Average Number of Floors* untuk membuat metrik kepadatan [3]. Natanian & Aurer dalam penelitiannya menggunakan prototipe bangunan yang ideal dalam mensimulasikan bentuk sebuah perkotaan dengan FAR yang berbeda di iklim mediterania. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan FAR pada prototipe, menyebabkan intensitas konsumsi energi pada system pendinginan baik pada bangunan perkantoran maupun bangunan perumahan menunjukkan tren yang menurun [4].

Wei et al. (2016) menjelaskan, SVF (sky view factor) pada morfologi urban berkaitan erat dengan iklim mikro yang terbentuk. SVF akan menurun ketika KLB meningkat dan KDB tetap konstan. Temperatur radiasi rata-rata dan temperatur udara sangat berpengaruh oleh morfologi urban ketika nilai KDB tetap konstan [6]. Menurut Merlier, L., Kuznik, F., Rusaouën, G., & Salat (2018), kedudukan morfologi urban setingkat dengan lingkungan binaan atau kawasan. Morfologi urban mengacu pada tiga skala terkecil pada analisis keruangan urban yaitu, kawasan, blok, dan bangunan. Lanjut dalam tulisan tersebut, menurut Levy & Steemers et al. dalam Merlier et al., (2018), morfologi urban saat ini dipahami dalam dimensi lingkungan (bioclimatic) sebagai bentuk 3D dari sekelompok bangunan dan ruang yang mereka buat, yaitu volume yang tidak dibangun. Sedangkan, tata massa bangunan adalah penataan massa bangunan pada satu kawasan [7]. Martin dan March dalam Liu et al., (2023) merekomendasikan tiga tipe bangunan, yaitu: *courtyard type*, *point type* dan *slab type*. Atas dasar ini, para peneliti kemudian memperluas serta menambah tipe dari bangunan dan memasukkannya kedalam penelitian yang berfokus pada energi sebagai indikator morfologi [3]. Taleghani et al., (2013) dalam penelitiannya, melihat tiga tipe bangunan (*point, slab & courtyard*) untuk mengevaluasi konsumsi energi dan kenyamanan tipe bangunan tersebut pada kota beriklim sedang, Rotterdam, serta menemukan bahwa tipe bangunan *courtyard* memiliki kebutuhan energi terendah dan kenyamanan termal terpanjang pada musim panas [8].

Adapun penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar pengaruh morfologi perkotaan, dalam hal ini bentuk geometri perkotaan serta parameter densitas dari sebuah blok perkotaan terhadap konsumsi energi bangunan. Penelitian ini berfokus pada bangunan komersial yang memiliki jam kerja yang tinggi pada waktu siang hingga malam hari, dimana data diatas menunjukkan bahwa energi untuk kebutuhan pengkondisian udara sangat signifikan dibandingkan yang lainnya.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode simulasi, yang kemudian dapat digolongkan kedalam penelitian *Research for Design* [9]. Metode simulasi yang dilakukan mengintegrasikan secara dinamis bentuk replika sebagai hasil dari faktor-faktor yang kemudian direkayasa, dimana interaksi tersebut merupakan gambaran dari interaksi yang sebenarnya terjadi di dunia nyata. Metode simulasi yang digunakan menggunakan *software* Rhinoceros 7 dan Grasshopper Plug-in. Rhinoceros dan Grasshopper digunakan sebagai alat studi bentuk kawasan, dimana Rhinoceros merupakan aplikasi pemodelan yang sering digunakan dalam dunia arsitektur dan Grassopper merupakan *plug-in* yang berada didalamnya.

Metode dalam penelitian ini mencakup tiga langkah secara umum, di antara lain: (1) membuat sampel model blok perkotaan dengan menggunakan parameter dan indikator yang telah ditentukan, serta mempertimbangkan peraturan daerah kota Palu sebagai unit analisis, (2) kemudian langkah berikutnya mensimulasikan sampel model blok perkotaan yang dalam hal ini berfokus pada energi bangunan, dan (3) analisis statistik hasil dari langkah-langkah sebelumnya.

Lokasi Wilayah Studi

Penelitian ini memilih kota Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia sebagai wilayah studi kasus, dimana kota Palu merupakan salah satu kota berkembang di Indonesia yang memiliki potensi pembangunan jangka panjang. Lokasi dalam penelitian ini dibutuhkan untuk memenuhi data yang dibutuhkan dalam simulasi. Wilayah yang telah dipilih memiliki properti yang didapatkan sebagai salah satu komponen dalam simulasi, informasi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Informasi lokasi sebagai studi kasus.

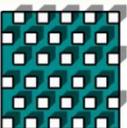
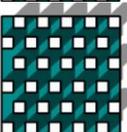
<i>Location</i>	
<i>Name</i>	Palu, Sulawesi Tengah Indonesia
<i>Coordinate</i>	0.35-1.20 LU and 120-122.90 BT
<i>Latitude</i>	-0.86972
<i>Longitude</i>	119.9
<i>Time zone</i>	8
<i>Elevation</i>	118 m

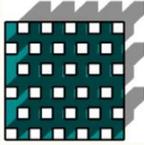
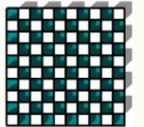
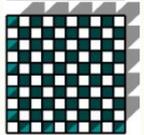
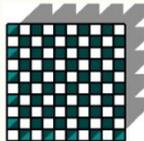
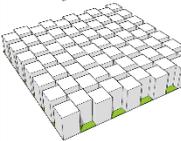
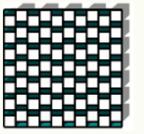
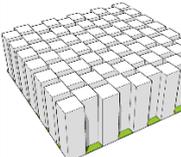
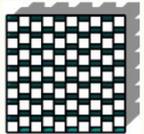
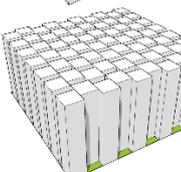
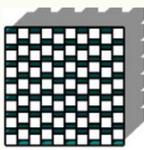
Sampel Model Blok Perkotaan

Morfologi blok perkotaan pada penelitian ini mengacu pada konfigurasi spasial penggunaan lahan perkotaan dalam suatu area blok. Kemudian Adapun acuan pembuatan sampel model blok perkotaan yaitu Peraturan Daerah Kota Palu Nomor 16 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Palu Tahun 2010-2030. Dimana koefisien lantai bangunan (KLB) maksimum pada zona kegiatan barang dan jasa adalah 12 lantai dan Koefisien Dasar Bangunan (KDB) maksimum pada zona kegiatan barang dan jasa adalah 70 persen.

Objek penelitian merupakan plot bangunan berupa *hypothetical district* bangunan perkantoran. Luas area sampel blok didefinisikan sebagai 10.000 m², serta pendefinisian model menggunakan parameter kepadatan perkotaan, untuk setiap sampel model blok, didalamnya memiliki tiga definisi *site coverage* (SC) yakni 0.3, 0.5, 0.7, dan tiga definisi *building height* (BH) 16 m, 32 m, dan 48 m. Dengan demikian, penelitian ini memiliki sembilan sampel model blok perkotaan dengan variasi nilai *site coverage* (SC) dan *building height* (BH) yang berbeda. Sampel model blok perkotaan serta konfigurasi pembentuknya dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Ringkasa skenario dan definisi sampel model blok perkotaan.

<i>Code</i>	<i>Geometric Model</i>	<i>First Floor Plan</i>	<i>Building Footprint Area</i>	<i>Site Coverage</i>	<i>Building Height</i>	<i>Floor Area Ratio (FAR)</i>	<i>Block Surface Area (BSR)</i>
Model 1			10.000 m ²	0.3	16 m	1.5	3.1
Model 2			10.000 m ²	0.3	32 m	3	5.5

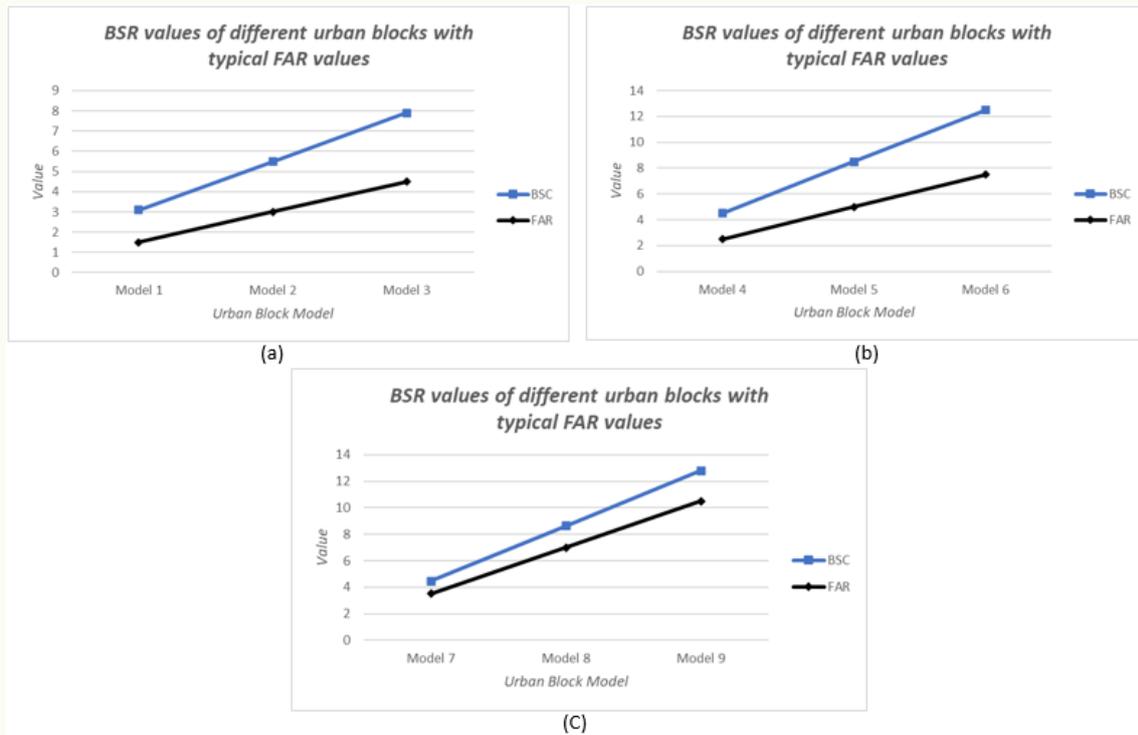
Model 3			10.000 m ²	0.3	48 m	4.5	7.9
Model 4			10.000 m ²	0.5	16 m	2.5	4.5
Model 5			10.000 m ²	0.5	32 m	5	8.5
Model 6			10.000 m ²	0.5	48 m	7.5	12.5
Model 7			10.000 m ²	0.7	16 m	3.5	4.4
Model 8			10.000 m ²	0.7	32 m	7	8.6
Model 9			10.000 m ²	0.7	48 m	10.5	12.7

Parameter Densitas Perkotaan dan Konsumsi Energi Bangunan

Setelah desain sampel model blok perkotaan telah selesai, digunakan beberapa parameter morfologi blok yang telah disebutkan diatas untuk mendefinisikan blok tersebut, yang mana hal ini juga sangat berkaitan dengan kebutuhan energi. Parameter morfologi blok yang digunakan pada penelitian ini telah dipertimbangkan pada desain blok.

Ada beberapa parameter densitas urban yang bisa mempengaruhi konsumsi energi suatu kawasan yakni FAR (*floor area ratio*) atau yang biasa disebut dengan KLB (koefisien lantai bangunan) dan OSR (*open space ratio*). Keduanya memiliki pengaruh sebagai penghalang pergerakan angin yang masuk pada kawasan tersebut, selain itu juga berpengaruh terhadap pergerakan angin dan perpindahan panas ke atmosfer serta radiasi *long-wave* dan *short-wave* yang mencapai ke permukaan perkerasan maupun bangunan. Selain itu, BCR (*building coverage ratio*) atau yang biasa disebut KDB (koefisien dasar bangunan), GCR (*green coverage ratio*) atau yang biasa disebut KDH (koefisien dasar hijau). KDB akan berpengaruh terhadap tingkat kelembaban dan pemanasan luas permukaan bangunan [5].

Untuk parameter geometri BSR (*Block Surface Area*) merupakan indeks yang digunakan untuk membedakan kompleksitas geometris pada model blok perkotaan. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2** dimana secara umum, peningkatan nilai FAR (*Floor Area Ratio*) serta jumlah bangunan pada blok perkotaan akan menyebabkan peningkatan pada nilai BSR. Model blok dengan nilai parameter yang berbeda sesuai dengan indikator BSR yang berbeda. Hal ini menyebabkan tren nilai BSR disetiap sampel model blok perkotaan sangat variatif.

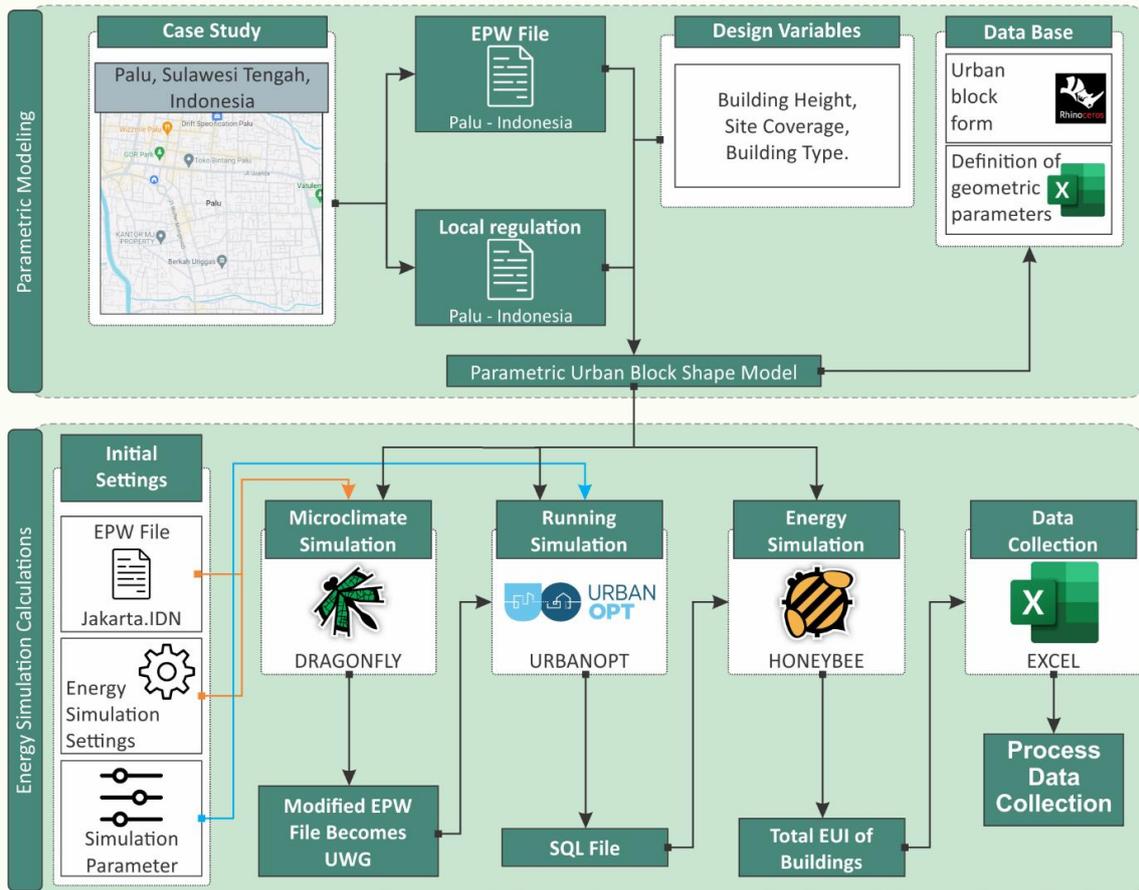


Gambar 2. Tren nilai BSR dari blok perkotaan terhadap nilai FAR tipikal. (a) model dengan nilai site coverage 0.3, (b) model dengan nilai site coverage 0.5, (c) model dengan nilai site coverage 0.7.

Alur Kerja Simulasi Energi Bangunan

Alur kerja yang dibangun dimaksudkan untuk memfasilitasi dan mengarahkan pembuatan sampel blok perkotaan serta simulasi energi dengan menggunakan *plug-in* permodelan parametrik Grasshopper di aplikasi Rhinoceros 3D, dapat dilihat pada **Gambar 3**. Alur kerja tersebut mengintegrasikan fungsi model 3D parametrik pada bentuk blok perkotaan, simulasi energi, perhitungan geometri dan indikator simulasi, yang kemudian dilakukan perhitungan dan visualisasi data. Data cuaca kota Palu dalam format EPW yang digunakan sebagai data base dalam pembuatan UWG (*urban weather generator*). Hal ini dilakukan untuk membuat data cuaca atau iklim yang baru menggunakan konteks bangunan model blok perkotaan yang ada.

Dragonfly, merupakan sebuah *plug-in* simulasi energi untuk Grasshopper yang diterapkan pada penelitian ini. Dragonfly digunakan untuk membangun model blok yang dimana setiap bangunan dapat menjadi objek sekaligus menjadi konteks yang mempengaruhi bangunan lainnya. Serta sebagai *plug-in* pembuatan data iklim yang baru yang sesuai dengan konteks blok perkotaan. Honeybee berfungsi untuk mengatur parameter simulasi pada penelitian. Hasil simulasi dari setiap sampel kemudian disimpan pada file CSV secara *real time*. Kemudian hasil tersebut diproses untuk menerapkan analisis data untuk mendapatkan korelasi antara input dan output pada penelitian ini



Gambar 3. Alur kerja simulasi energi bangunan.

Alur Kerja Simulasi Energi Bangunan

Untuk memulai simulasi, dibutuhkan pengaturan awal untuk membantu akurasi detail pada sampel model yang akan disimulasikan, hal ini dapat dilihat pada **Tabel 3**. Perhitungan energi setiap bangunan pada model blok memiliki nilai individual yang terperinci, dimana setiap bangunan dapat menjadi konteks terhadap bangunan lainnya. Periode simulasi yang digunakan dimulai pada tanggal 1 januari hingga 31 desember pukul 08.00 – 22.00.

Tabel 3. Pengaturan awal dan pengaturan parameter simulasi pada grasshopper.

Location		
Weather data		Palu. Mutiara SL IDN 970720 (EPW file)
Weather data (Modification)		EPW files modified based on simulated microclimate result of UWG
Simulation		
Simulation period		From Jan. 1 to Dec. 31
Window-to-wall ratio	North, south, west and east facing	0.4
Floor-to-floor height (m)		4
Footprint area (square)	100 m x 100 m	10.000 m ²
Large Office Building		
Equipment loads per area		16.5 W/m ²
Lighting density per		10.1 W/m ²

<i>area</i>		
Area per people	m^2 per person	16.30
Air circulated per area		0.003275 ($m^3/s/m^2$)

Simulasi Energi Bangunan

Simulasi energi bangunan pada penelitian ini menggunakan modul Honeybee dan Dragonfly serta *engine* UrbanOPT untuk menghitung konsumsi energi pada gedung dari blok perkotaan. *Energy Use Intensity* (EUI) digunakan untuk menunjukkan efisiensi konsumsi energi bangunan pada blok perkotaan dalam penelitian ini, dimana hal tersebut mengacu pada konsumsi energi tahunan per satuan luas bangunan, yang biasanya dinyatakan dalam $kWh/m^2/year$.

Untuk konsumsi energi peralatan pada sebuah bangunan sangat bervariasi akan tetapi tidak dipengaruhi oleh parameter morfologi blok perkotaan, maka konsumsi energi peralatan pada gedung tidak dimasukkan dalam hasil dan analisis. Konsumsi energi gedung pada model blok perkotaan dan jumlah energi pendinginan, pemanasan dan pencahayaan, untuk setiap gedung disimulasikan serta dilakukan perhitungan EUI tahunan dengan

Persamaan 1:

$$\text{Total EUI} = \frac{E}{S_a}$$

Total EUI: jumlah dari *cooling*, *heating*, dan *lighting*

EUI: konsumsi energi bangunan

S_a : total *floor area* dari blok perkotaan

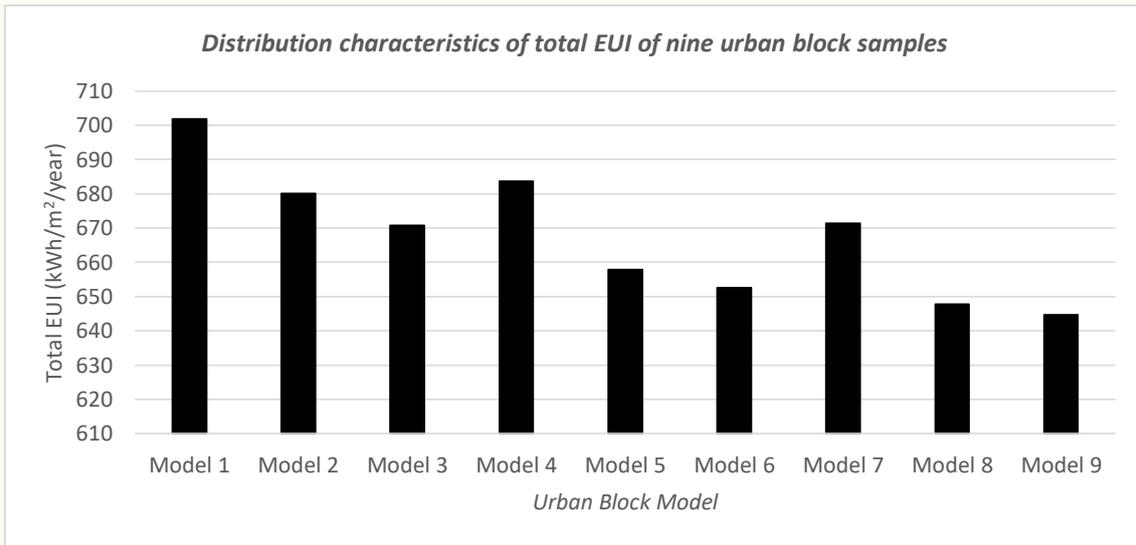
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dari hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan Rhinoceros dengan plug-in yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, kemudian di analisis untuk melihat konsumsi energi dari setiap sampel model blok perkotaan. Hasil dan pembahasan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian, dimana setiap bagian mewakili nilai site coverage yang sama yaitu 0.3, 0.5, dan 0.7 dengan variasi building height yang berbeda didalamnya. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa besar dampak parameter densitas perkotaan terhadap konsumsi energi bangunan.

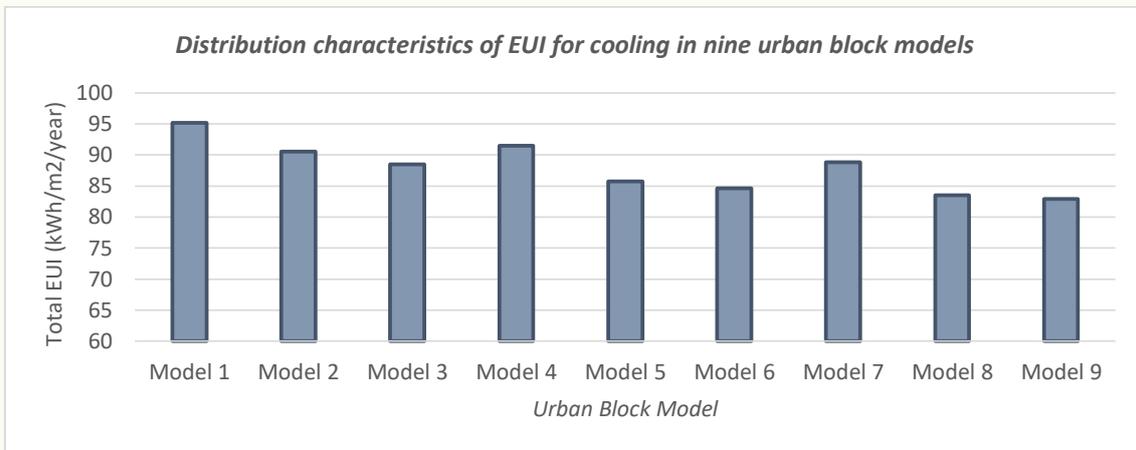
Hasil Simulasi Energi Bangunan pada Seluruh Sampel Model Blok Perkotaan

Nilai EUI bangunan untuk sembilan sampel blok dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model blok perkotaan memiliki EUI maksimal sebesar 701.8 $kWh/m^2/year$, sedangkan EUI minimum pada model blok perkotaan sebesar 644.7 $kWh/m^2/year$. EUI rata-rata pada penelitian cukup bervariasi diantara tipe blok, dimana hal ini dikarenakan perbedaan parameter morfologi. Javanroodi et al. (2019) mempelajari pengaruh blok morfologi blok pada beban pendinginan dan potensi ventilasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendinginan konsumsi energi dan potensi ventilasi di Teheran dapat dioptimalkan lebih dari 10% dan 15%, masing-masing, karena perbedaan morfologi blok [10]. Demikian pula, studi lain yang didasarkan pada iklim panas dan lembab menemukan pengurangan 16-18% dalam konsumsi energi pendingin gedung perkantoran ketika bangunan di sekitarnya diperhitungkan [11].

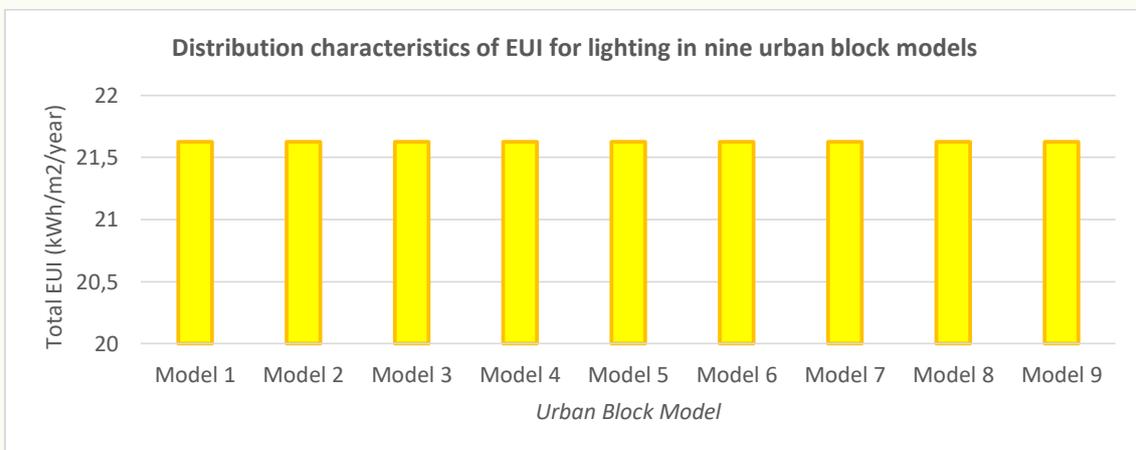
Hubungan antara nilai EUI pendinginan, pemanasan dan penerangan pada gedung tidak bertambah dan berkurang dengan cara yang sama, hal ini dapat dilihat pada Gambar 5-7. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa tren EUI untuk pendinginan di antara blok-blok perkotaan berbeda-beda sejalan dengan tren dalam EUI untuk pemanasan, sedangkan EUI untuk penerangan adalah kebalikannya. Akibatnya, sulit untuk menilai pola perubahan total EUI bangunan berdasarkan tren pendinginan, pemanasan dan penerangan EUI bangunan.



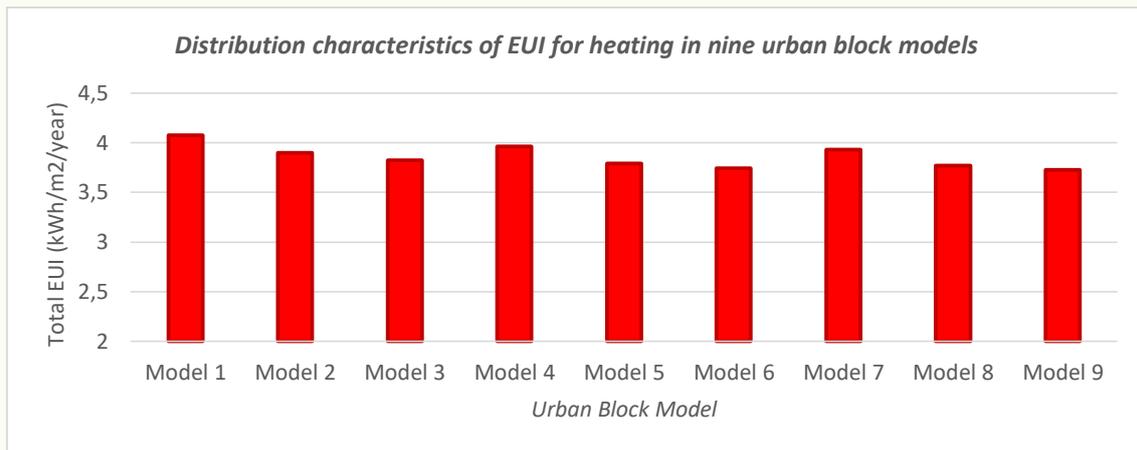
Gambar 4. Karakteristik sebaran total EUI dari sembilan sampel blok perkotaan.



Gambar 5. Karakteristik sebaran EUI untuk pendinginan pada sembilan model blok perkotaan.



Gambar 6. Karakteristik sebaran EUI untuk pencahayaan pada sembilan model blok perkotaan.



Gambar 7. Karakteristik sebaran EUI untuk pemanasan pada sembilan model blok perkotaan.

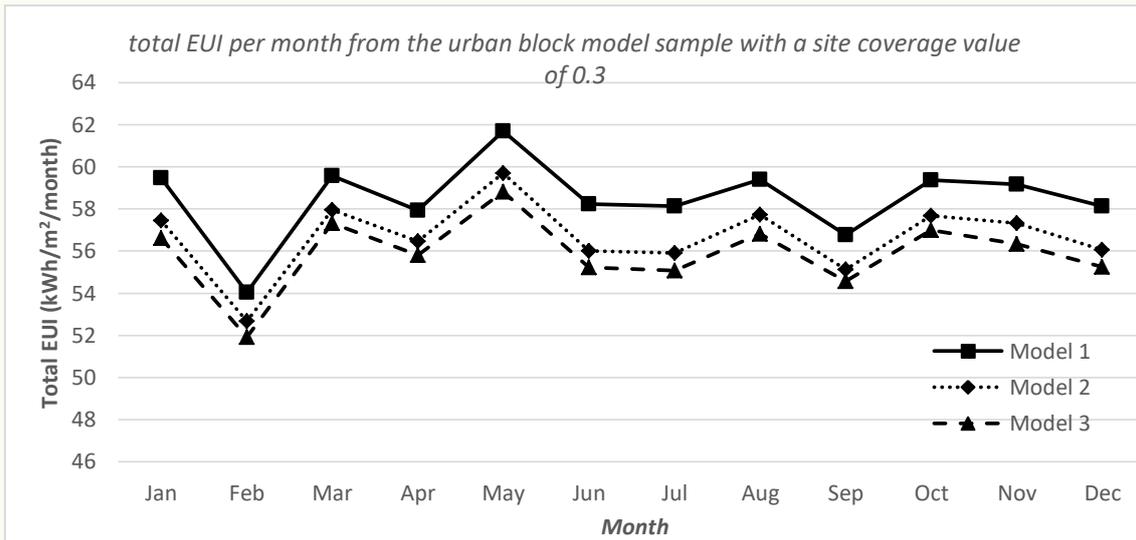
Di Indonesia gedung-gedung blok memiliki kebutuhan pendinginan yang cukup besar, dimana data sebelumnya memperlihatkan konsumsi energi untuk sistem pendinginan ada diposisi utama pada penggunaan energi bangunan komersial, sementara konsumsi energi penerangan merupakan bagian yang tidak dapat diabaikan dari gedung komersial. Karakteristik distribusi EUI untuk pendinginan dari sembilan model blok perkotaan ditunjukkan pada **Gambar 5**. Untuk keseluruhan sampel blok, EUI pendinginan paling optimal dari sampel model blok 9, dengan 82.8 kWh/m²/year, 14.8% lebih rendah daripada EUI pendinginan dari sampel blok 1, dengan 95.1 kWh/m²/year. Karakteristik distribusi EUI untuk pencahayaan dari sembilan model blok perkotaan ditunjukkan pada **Gambar 6**. EUI pencahayaan pada sembilan model cenderung sama sehingga sulit untuk menyimpulkan nilai optimal dari system pencahayaan pada kesembilan model tersebut. Karakteristik distribusi EUI untuk pemanasan dari sembilan model blok perkotaan ditunjukkan pada **Gambar 7**. EUI pemanasan paling optimal dari sampel model blok 9, dengan 3.7 kWh/m²/year, 10% lebih rendah daripada EUI pencahayaan pada sampel model blok 1, dengan 4.07 kWh/m²/year.

Memvariasikan Nilai Building Height dengan Nilai Site Coverage 0.3

Wong dan Jusuf dalam Wong dkk., (2011) menunjukkan perbandingan antara tiga sampel model blok perkotaan dengan nilai *site coverage* yang sama dengan variasi nilai *building height* yang berbeda dilakukan dengan pertimbangan bahwa peningkatan ketinggian bangunan memiliki pengaruh terhadap pengurangan nilai *sky view factor* (SVF) pada bangunan disekitarnya, dimana akan memberikan lebih banyak efek pembayang ke lingkungan sekitarnya [12]. Dimana jika ketinggian bangunan dipertimbangkan, maka sampel model dengan bangunan yang lebih tinggi tampaknya memberikan lebih banyak manfaat untuk bangunan dalam lingkungan tersebut.

Gambar 8 menunjukkan tren nilai total EUI pada tiga model dengan nilai parameter *site coverage* yang sama yaitu 0.3, dimana setiap model memiliki nilai *building height* bervariasi masing-masing, model 1 dengan nilai 16 m, model 2 dengan nilai 32 m, dan model 3 dengan nilai 48 m. Dari hasil analisis memperlihatkan bahwa model 1 memiliki nilai rata-rata EUI perbulan 58.4 kWh/m²/month, kemudian model 2 dengan nilai rata-rata EUI perbulan 56.6 kWh/m²/month, dan model 3 dengan nilai rata-rata EUI perbulan 55.8 kWh/m²/month.

Dari data perbandingan diatas menjelaskan bahwa ketinggian bangunan memiliki pengaruh terhadap konsumsi energi bangunan. Keadaan yang ada kemudian menjelaskan bahwa ketinggian bangunan memiliki dampak yang positif terhadap penurunan beban pendinginan yang berlanjut pada penurunan konsumsi energi bangunan. Peningkatan ketinggian memperbesar efek "*building shade*" bagi lingkungan blok perkotaan meskipun di ikuti dengan peningkatan luas permukaan dinding. Dimana efek "*building shade*" memperkecil kemungkinan efek dari *incident solar radiation* ke permukaan bangunan sehingga berdampak pada penurunan beban pendinginan bangunan.

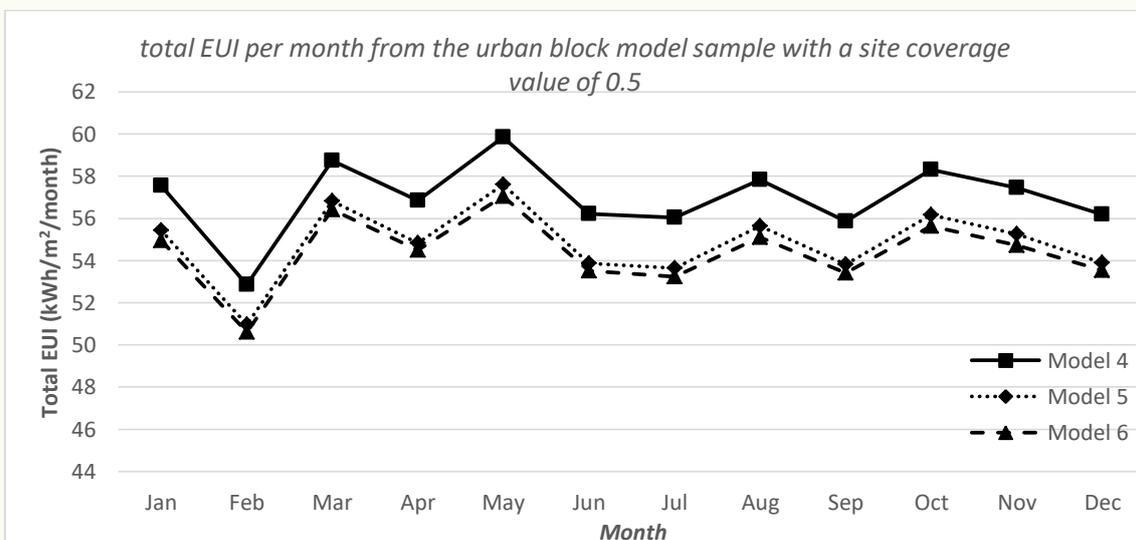


Gambar 8. Total EUI per bulan dari sampel model blok dengan nilai site coverage 0.3.

Memvariasikan Nilai Building Height dengan Nilai Site Coverage 0.5

Gambar 9 menunjukkan tren nilai total EUI pada tiga model dengan nilai parameter *site coverage* yang sama yaitu 0.5, dimana setiap model memiliki nilai *building height* bervariasi masing-masing, model 4 dengan nilai 16 m, model 5 dengan nilai 32 m, dan model 6 dengan nilai 48 m. Dari hasil analisis memperlihatkan bahwa model 4 memiliki nilai rata-rata EUI perbulan 56.9 kWh/m²/month, kemudian model 5 dengan nilai rata-rata EUI perbulan 54.8 kWh/m²/month, dan model 6 dengan nilai rata-rata EUI perbulan 54.3 kWh/m²/month.

Dari data perbandingan yang ada menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dari nilai EUI yang dimiliki model 4 dibandingkan dengan model 5 dan model 6. Perbedaan yang terjadi diakibatkan efek *building shade* diantara ketiga bangunan berbeda meskipun tingkat kepadatan bangunan yang diwakili oleh parameter *site coverage* sama. Kepadatan bangunan pada sebuah blok perkotaan sangat berpengaruh meskipun peningkatan ketinggian bangunan stabil, akan tetapi pada ketinggian tertentu membentuk *building shade* yang optimal, sehingga peningkatan ketinggian yang lebih lanjut hanya akan berkontribusi pada peningkatan luas permukaan dinding pada bangunan [12].

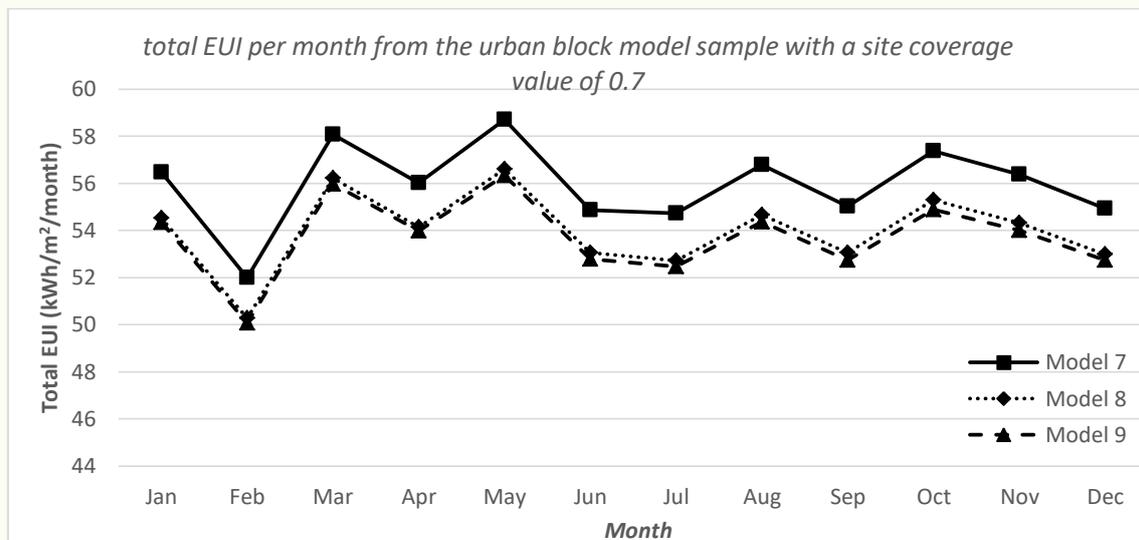


Gambar 9. Total EUI per bulan dari sampel model blok dengan nilai site coverage 0.5.

Memvariasikan Nilai Building Height dengan Nilai Site Coverage 0.5

Gambar 10 menunjukkan tren nilai total EUI pada tiga model dengan nilai parameter *site coverage* yang sama yaitu 0.7, yang mana merupakan nilai maksimum dari nilai KDB (Koefisien Dasar Bangunan) dan KLB (Koefisien Lantai Bangunan) dari peraturan daerah kota Palu terhadap bangunan komersial (PERDA Kota Palu, 2010), dimana setiap model memiliki nilai *building height* bervariasi masing-masing, model 7 dengan nilai 16 m, model 8 dengan nilai 32 m, dan model 9 dengan nilai 48 m. Dari hasil analisis memperlihatkan bahwa model 7 memiliki nilai rata-rata EUI perbulan 55.9 kWh/m²/month, kemudian model 8 dengan nilai rata-rata EUI perbulan 53.9 kWh/m²/month, dan model 9 dengan nilai rata-rata EUI perbulan 53.7 kWh/m²/month.

Nilai *site coverage* 0.7 memiliki nilai konsumsi energi bangunan paling rendah diantara dua nilai *site coverage* lainnya. Meskipun kehadiran bangunan tambahan yang kemudian dinilai dengan parameter kepadatan memiliki kecenderungan menaikkan temperatur dengan pengurangan area hijau juga penambahan luas permukaan bangunan, yang meningkatkan kapasitas termal pada bangunan [14]. Meskipun seperti demikian, akan tetapi peningkatan tersebut tidak terlalu signifikan jika dibandingkan efek "*building shade*" yang memungkinkan naungan antar bangunan dapat menurunkan konsumsi energi pada sistem pendinginan.



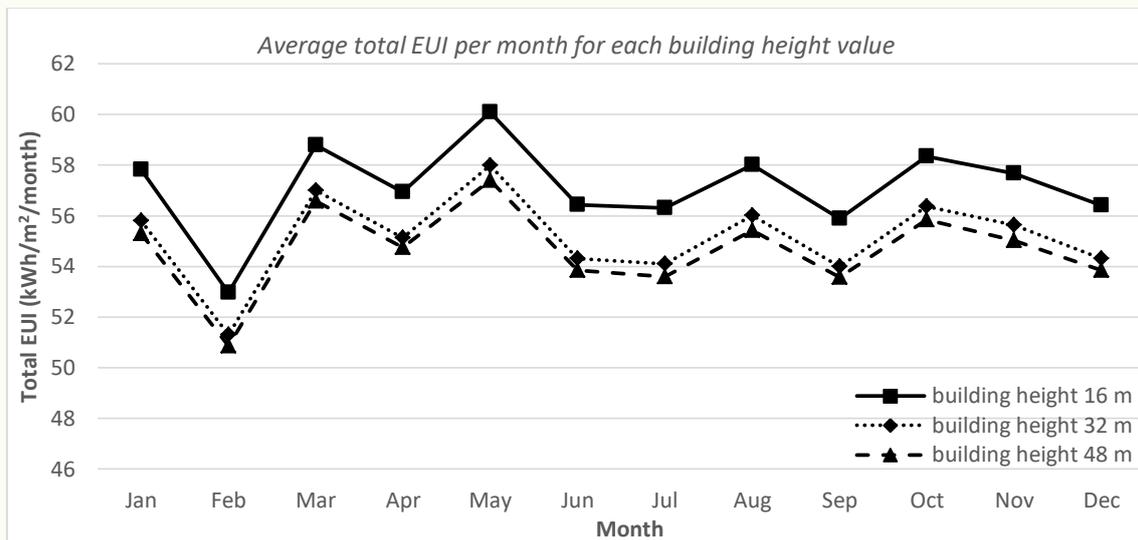
Gambar 10. Total EUI per bulan dari sampel model blok dengan nilai site coverage 0.3.

KESIMPULAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk menyelidiki dampak dari parameter densitas perkotaan terhadap konsumsi energy bangunan pada sebuah blok perkotaan dalam waktu satu tahun. Parameter geometri yang digunakan dalam penelitian ini didalamnya termasuk FAR, BSR, dan seterusnya. Serta parameter morfologi perkotaan yang termaksud didalamnya dan peraturan daerah terkait. Berdasar kondisi iklim kota Palu, Indonesia, yang kemudian dimodifikasi untuk mendapatkan data iklim mikro pada setiap model blok perkotaan yang ada. Dimana pada penelitian ini menggunakan 9 model blok perkotaan dengan tiga nilai *site coverage* dan *building height* yang dikontrol. Kesimpulan utama pada penelitian ini meliputi:

- Kepadatan perkotaan memiliki dampak yang signifikan terhadap penggunaan energi bangunan, serta dalam setiap peningkatan kepadatan memiliki dampak yang cukup variatif pada setiap model blok perkotaan yang ada. Pengaruh kepadatan perkotaan terhadap penggunaan energy bangunan juga dipengaruhi oleh bentuk morfologi dari setiap model yang ada. Pada sebuah nilai FAR yang sama, nilai dari penggunaan energi membentuk sebuah tren yang tidak sama dari setiap bentuk morfologi yang ada, yang kemudian hal tersebut dapat dilihat pada hasil dari penelitian.

- Peningkatan ketinggian bangunan dari masing-masing nilai *site coverage* memiliki efek “*building shade*” yang kemudian berpengaruh positif terhadap penurunan nilai energi bangunan. Efek yang terjadi akibat kerapatan bangunan serta penambahan ketinggian bangunan, dua hal ini berpengaruh secara signifikan dalam peningkatan efek naungan antar bangunan.
- Dari setiap nilai *site coverage* yang ada, ketinggian bangunan dengan nilai *building height* 16 m, selalu memiliki nilai konsumsi energi paling tinggi diantara nilai *building height* 32 m dan 48 m. Pada dua nilai *building height* lainnya, hal ini memperlihatkan nilai konsumsi energi yang cukup dekat. Tren penggunaan energi dari setiap ketinggian dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Rata-rata total EUI per bulan untuk setiap nilai building height dari tiga nilai site coverage yang berbeda.

Kesimpulan yang relevan sangat membantu bagi perancangan dalam menilai potensi penggunaan energi bangunan dalam sebuah blok perkotaan pada awal perancangan. Kontribusi terbesar pada penelitian ini dimana penerapan parameter geometri dapat memberikan lebih banyak kemungkinan untuk desain sebuah bentuk blok perkotaan yang lebih efisien dalam penggunaannya. Meskipun penelitian ini didasarkan pada kondisi iklim Kota Palu, Indonesia, akan tetapi metode penelitian yang berkaitan dengan hubungan antara kepadatan perkotaan, bentuk morfologi perkotaan serta parameter geometri yang masih signifikansi untuk referensi tertentu pada wilayah lain.

PERNYATAAN PENULIS

- Konttribusi penulis** : Para penulis memberikan kontribusi besar terhadap konsepsi dan desain penelitian. Penulis mengambil tanggung jawab untuk analisis data, interpretasi, dan diskusi hasil. Penulis membaca dan menyetujui naskah akhir.
- Pernyataan pendanaan** : Tidak ada satu pun penulis yang menerima dan atau hibah apa pun dari lembaga atau badan pendanaan mana pun untuk penelitian ini.
- Konflik kepentingan** : Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.
- Informasi tambahan** : Tidak ada informasi tambahan yang tersedia untuk makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. H. Wong *et al.*, "Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 1, pp. 57–71, 2011, doi: 10.1016/j.solener.2010.11.002.
- [2] S. Xu, G. Li, H. Zhang, M. Xie, T. Mendis, and H. Du, "Effect of Block Morphology on Building Energy Consumption of Office Blocks: A Case of Wuhan, China," *Buildings*, vol. 13, no. 3, 2023, doi: 10.3390/buildings13030768.
- [3] K. Liu, X. Xu, R. Zhang, L. Kong, W. Wang, and W. Deng, "Impact of urban form on building energy consumption and solar energy potential: A case study of residential blocks in Jianhu, China," *Energy Build.*, vol. 280, p. 112727, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112727.
- [4] J. Natanian and T. Auer, "Balancing urban density, energy performance and environmental quality in the Mediterranean: A typological evaluation based on photovoltaic potential," *Energy Procedia*, vol. 152, pp. 1103–1108, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.09.133.
- [5] R. Wei, D. Song, N. H. Wong, and M. Martin, "Impact of Urban Morphology Parameters on Microclimate," *Procedia Eng.*, vol. 169, pp. 142–149, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.10.017.
- [6] Y. Li, D. Wang, S. Li, and W. Gao, "Impact analysis of urban morphology on residential district heat energy demand and microclimate based on field measurement data," *Sustain.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3390/su13042070.
- [7] S. Merlier, L. Kuznik, F. Rusaouën, G., & Salat, "Derivation of generic typologies for microscale urban airflow studies," *Sustain. Cities Soc.* 36(September 2017), pp. 71–80, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.017>.
- [8] M. Taleghani, M. Tenpierik, A. Van Den Dobbelen, and R. De Dear, "Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands," *Energy Build.*, vol. 67, pp. 166–175, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.08.024.
- [9] D. Groat, Linda N., Wang, *ARCHITECTURAL RESEARCH METHODS*. United States of America, 2013.
- [10] K. Javanroodi, V. M. Nik, and M. Mahdavejad, "A novel design-based optimization framework for enhancing the energy efficiency of high-rise office buildings in urban areas," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 49, no. May, p. 101597, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101597.
- [11] I. Lima, V. Scalco, and R. Lamberts, "Energy & Buildings Estimating the impact of urban densification on high-rise office building cooling loads in a hot and humid climate," *Energy Build.*, vol. 182, pp. 30–44, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.10.019.
- [12] N. H. Wong *et al.*, "Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 1, pp. 57–71, 2011, doi: 10.1016/j.solener.2010.11.002.
- [13] pemerintah daerah, "Peraturan Daerah Kota Palu Nomor : 16 Tentang Wilayah Kota Palu," 2010.
- [14] Y. Chen and N. H. Wong, "Thermal benefits of city parks," *Energy Build.*, vol. 38, no. 2, pp. 105–120, 2006, doi: 10.1016/j.enbuild.2005.04.003.