

FAKTOR-FAKTOR DISAIN RUMAH SUSUN YANG BERPENGARUH TERHADAP KENYAMANAN TERMAL The Influence of Design Factors Toward the Thermal Comfort in Flats

¹Arief Sabaruddin, ²Rumiati R. Tobing, ³Tri Harso Karyono

¹ Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum
Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan - Kabupaten Bandung 40393
E-mail : ars@puskim.pu.go.id

² Pengajar Fakultas Teknik Arsitektur Universitas Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit No. 94 Bandung
E-mail : limtob@indo.net.id

³ Pengajar Fakultas Arsitektur Universitas Tarumanegara dan Peneliti BPPT
E-mail : t_karyono@yahoo.com

Diterima : 12 Januari 2012 ; Disetujui : 26 Maret 2012

Abstrak

Isu kenaikan muka air laut akibat pemanasan global, telah menjadi topik yang menarik pada abad ini, namun belum banyak yang dapat digali antara keterkaitan disain bangunan yang menjadi faktor pemicu terbentuknya emisi CO₂ tersebut. Penelitian ini merupakan kajian terhadap faktor-faktor disain bangunan yang berpengaruh terhadap kenyamanan visual yang berpengaruh pada besarnya penambahan emisi CO₂, pada studi kasus rumah susun di Kota Bandung. Metoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan menggunakan metoda statistik faktorial disain. Faktor-faktor yang digali merupakan bentuk pola perlakuan disain, yang meliputi; orientasi bangunan, tipe bangunan serta posisi unit hunian. Dari hasil analisis terbukti bahwa faktor-faktor disain yang mempengaruhi kenyamanan termal dan berpeluang menghasilkan emisi CO₂ adalah orientasi bangunan dan tipe bangunan. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi bahan masukan kriteria disain bangunan rendah emisi CO₂, pada tahap operasional.

Kata Kunci : Emisi CO₂, disain, orientasi, tipe bangunan, posisi unit hunian

Abstract

The issue of sea rise due to global warming has become a topic of interest in this century, but not many people can be developed between entanglement design buildings into factors trigger the establishment of CO₂ emissions. This research is the study of factors designs of buildings that affect the comfort visual effect on CO₂ emissions, the amount of additional in case study flats in the city of Bandung. The method used in this study is quantitative research using statistics method factorial design. A factor excavated is a pattern treatment design, which includes orientation; building, type of building and the position unit occupancy. The analysis proven that design factors affecting comfort thermal and could produce CO₂ emissions are equivalent orientation buildings and type of the building. The results of this research are expected to be material input design criteria of low CO₂ emissions, at the operational stage.

Keyword : CO₂ emission, design, orientation, building tipe, dwelling unit position

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Emisi CO₂ merupakan penambahan gas CO₂ di atmosfer yang memiliki jumlah dengan intensitas yang sangat tinggi, melampaui jumlah ideal yaitu 10% - 20% [5]. Tingginya gas CO₂ di atmosfer dapat mengakibatkan lapisan atmosfer tertutup oleh gas CO₂ yang sangat tebal, sehingga dapat menahan dan mengembalikan radiasi dan panas matahari ke permukaan bumi. Proses tersebut dinyatakan sebagai proses efek gas rumah kaca (GRK) [4].

Menurut data terakhir dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), dalam dekade 100 tahun ke belakang sejak 1880 sampai dengan 1980, temperatur bumi telah meningkat 2°C, yang merupakan dampak dari efek gas rumah kaca [6]. Hal tersebut menyebabkan terjadinya proses pencairan es di kutub utara dan selatan, bahkan juga es yang berada di pegunungan yang amat tinggi, seperti pada kasus pegunungan Kilimanjaro Afrika dan Puncak Jaya Papua puncak gunung-esnya sudah mengalami pengurangan volume es akibat mencair, selanjutnya air tersebut berkumpul

di laut yang mengakibatkan terjadi kenaikan muka air laut (*sea level rise*).

Kenaikkan muka air laut yang disebabkan oleh mencairnya cadangan air, diperkirakan dapat menenggelamkan pulau-pulau kecil dan permukiman yang berada di sepanjang pantai. Padahal sebagaimana diketahui, bahwa 70% penduduk dunia tinggal di kawasan pantai. Hal tersebut menunjukkan bahwa dampak kenaikan permukaan air laut akan mengganggu lebih dari setengahnya penduduk dunia. Begitu juga dengan Indonesia, karena sebagian besar penduduknya tinggal di kawasan pantai, dan Indonesia memiliki pantai yang sangat panjang. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan terjadi bencana kemanusiaan, seperti kelaparan, kemiskinan dan gangguan kesehatan.

Perubahan iklim saat ini sudah sangat mengawatirkan, dimana karbon dioksida merupakan gas utama penyebab pemanasan global. Kondisi iklim yang tidak menentu pada akhir-akhir ini merupakan salah satu gejalanya, banjir dan kekeringan silih berganti, hal tersebut mengakibatkan pada perubahan ekosistem laut, hutan dan daratan, yang akan berpengaruh pada kesehatan manusia. Data pada tahun 1994, 83% peningkatan radiasi gas rumah kaca disebabkan oleh CO₂, lainnya 15% CH₄ dan sisanya N₂O dan CO [1]. Jumlah emisi terbesar di Indonesia disebabkan oleh eksploitasi hutan dan konversi lahan (74%), diikuti konsumsi energi (23%) dan proses industri (3%). Menurut *Massachusetts Institute of Technology* kandungan CO₂ di alam mencapai 3,64 triliun ton, mengalami peningkatan 800 ton setiap detik, dan 30% emisi CO₂ dihasilkan oleh bangunan [7].

Dampak dari eksploitasi sumber daya alam berupa sampah/polutan, yang salah satunya adalah emisi CO₂ yang berasal dari dampak pembakaran dalam memproduksi energi maupun proses industrialisasi. Demikian juga sampah domestik yang telah menghasilkan gas metan (CH₄), yang memiliki daya rusak terhadap pemanasan global 20 - 30 kali dibandingkan dengan gas CO₂[4].

Kondisi tersebut, harus segera disikapi oleh berbagai sektor dan disiplin ilmu, termasuk disiplin ilmu arsitektur (melalui disain bangunan). Bahwa sejauh mana peran disain dapat berkontribusi dalam persoalan global, hal-hal apa saja yang perlu diperhatikan dalam proses dan aspek disain, agar dalam proses dan penyelenggaraan bangunan, mampu menjaga keseimbangan alam. Apa yang kita bangun saat ini

akan memberikan manfaat yang dapat dirasakan baik oleh pengguna saat ini maupun generasi mendatang. Bagaimana konsep pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*), dengan melakukan adaptasi terhadap perubahan iklim melalui pendekatan disain bangunan, sebagai upaya mitigasi terhadap perubahan iklim (dan pemanasan global).

Bangunan sebagai wujud arsitektur keberadaannya tidak dapat dilepaskan dan sumber daya alam, sebagai tempat yang memungkinkan bangunan tersebut ada dan berfungsi. Wujud arsitektur dibentuk dari sumber daya alam, begitu juga setelah bangunan terwujud bangunan dapat berfungsi bila disuplai oleh sejumlah sumber daya alam. Suplai sejumlah sumber daya alam memiliki keterkaitan dengan disain bangunan itu sendiri. Faktor-faktor disain apa yang mempengaruhi kenyamanan dan berdampak pada besar-kecilnya emisi CO₂ ?

Pada kajian ini sampel penelitian dilakukan pada bangunan gedung dengan fungsi hunian, yakni rumah susun. Tiga jenis rumah susun yang dikaji, yakni rumah susun Cigugur Tengah Cimahi (**Tower**), rumah susun Industri Dalam mewakili tipe *Block Double Loaded (BDL)*, dan Rumah Susun Sarijadi mewakili tipe *Block Single Loaded (BSL)*.

Tujuan

Melihat seberapa kuat pengaruh dari faktor-faktor disain (posisi unit hunian; orientasi; dan tipe bangunan) terhadap faktor kenyamanan termal.

Manfaat

Manfaat diketahuinya faktor-faktor disain yang mempengaruhi kenyamanan adalah sebagai bahan masukan kriteria disain dan rancang bangun rumah susun rendah emisi CO₂.

Kajian Pustaka

Bangunan merupakan tempat dimana manusia melakukan aktivitas kehidupan dan kehidupannya. Melalui sebuah disain bangunan yang baik, manusia dapat melakukan kegiatannya dengan baik. Kondisi bangunan baik bilamana manusia merasakan nyaman dalam melakukan kegiatannya di dalam bangunan tersebut, rasa nyaman yang tercipta merupakan konsekuensi dari disain, tanpa harus banyak dibantu oleh peralatan pengatur kenyamanan.

Bangunan menurut Undang-undang Bangunan Gedung Nomor 28 Tahun 2002 terdiri dari bangunan umum dan bangunan perumahan. Sebagian besar emisi CO₂ dihasilkan dari kegiatan

domestik 27% [3], sehingga upaya menurunkan emisi CO₂ sangat efektif bila dilakukan pada bangunan perumahan. Emisi CO₂ yang dipengaruhi oleh disain secara langsung adalah aspek kenyamanan termal, dimana untuk mendapatkan rasa nyaman pada suatu bangunan dapat dilakukan dengan pendekatan aktif dan pasif disain. Sebuah disain yang baik bila kenyamanan tersebut dicapai melalui pendekatan disain pasif (*passive design*) bukan disain aktif (*active design*).

Pendekatan aktif disain pada sebuah bangunan adalah upaya mendapatkan rasa nyaman dengan memanfaatkan peralatan pengatur kenyamanan mekanik (artifisial), seperti *Air Conditioner* (AC) atau kipas angin. Pendekatan tersebut berpotensi menghasilkan emisi CO₂. Hal tersebut dikarenakan berbagai jenis peralatan tersebut digerakkan oleh energi listrik. Besarnya konsumsi energi memiliki korelasi dengan besarnya emisi CO₂.

Pendekatan disain secara pasif merupakan domain disiplin ilmu arsitektur, dimana peran *ordering principle* salah-satunya adalah keseimbangan, menjadi fokus dalam sebuah proses rancang-bangunan. Sedangkan pendekatan disain secara aktif dilakukan bilamana iklim mikro tidak memiliki kualitas udara yang baik, maka pemanfaatan peralatan (*instrument*) untuk mengkondisikan keadaan bangunan yang lebih baik dapat dipilih. Sebagai gambaran, ketika sebuah bangunan berada pada kawasan dengan pencemaran udara yang sangat tinggi, maka sirkulasi udara alamiah pada bangunan tidak diizinkan. Maka penggunaan alat pengatur udara (*Air Conditioner*) dapat digunakan pada konteks tempat tersebut.

Laju pertumbuhan penduduk diperkotaan di Indonesia rata-rata mencapai 1,82%, dengan laju pertumbuhan tertinggi adalah Kota Bekasi dengan 3,99%. Kota Bandung sebagai lokus penelitian merupakan kota metropolitan dengan tingkat kepadatan 137 jiwa/ha. Diprediksikan pada akhir tahun 2010 [11], 50% jumlah penduduk Indonesia bertempat tinggal di perkotaan. Laju pertumbuhan penduduk di perkotaan meningkat lebih pesat dibandingkan dengan perdesaan, sehingga *trend*-nya, sebagian besar penduduk Indonesia akan tinggal di perkotaan. Rumah merupakan kebutuhan dasar manusia setelah sandang dan pangan, sehingga jumlah penduduk yang terkonsentrasi di perkotaan tersebut akan membutuhkan perumahan yang cukup besar.

Harga lahan yang semakin tinggi dan semakin terbatas ketersediaannya, menuntut pendekatan

Compact City dengan rumah bersusun merupakan solusi yang tidak dapat dihindarkan. Meskipun keberadaan rumah bersusun belum terlalu signifikan jumlahnya, akan tetapi bila melihat pada laju pertumbuhan penduduk perkotaan, maka peluang emisi CO₂ akan cukup besar.

Mengacu pada komposisi penduduk berdasarkan penghasilan, maka masyarakat yang berpenghasilan menengah dan berpenghasilan rendah merupakan golongan terbesar, yaitu 70% dari penduduk Indonesia. Maka rumah susun dengan peruntukan golongan ini memiliki peluang besar dalam menghasilkan emisi CO₂. Upaya pencegahan melalui pendekatan rancang bangun arsitektur perumahan, diharapkan menjadi langkah kongkret untuk menurunkan emisi CO₂ pada lingkup arsitektur.

Dari beberapa latar belakang tersebut di atas, maka ditentukan objek penelitiannya adalah pada disain rumah susun sederhana dengan subjek penelitian pada aspek kenyamanan termal yang berpengaruh pada penambahan emisi CO₂ dengan lokus perkotaan yakni Kota Bandung. Penelitian ini ditujukan untuk menggali sejauhmana pengaruh disain terhadap kenyamanan termal dan berpotensi menambah emisi CO₂ yang mengakibatkan terjadinya pemanasan global.

Orientasi Unit Hunian

Orientasi adalah arah hadap bangunan berdasarkan arah matahari, pada pengertian lain orientasi juga dapat diartikan sebagai posisi bangunan pada muka bumi yang mengakibatkan terbentuknya pola iklim tertentu yang diterima oleh bangunan. Orientasi dalam kajian ini lebih diarahkan pada arah hadap bangunan berdasarkan mata-angin.

Orientasi bangunan pada konteks rumah susun, dapat diartikan arah garis tegak lurus terhadap sumbu memanjang bangunan, sehingga sebagian besar bidang bangunan menghadap pada arah mata angin. Arah hadap posisi unit hunian adalah arah hadap unit hunian berdasarkan letak pintu masuk utama terhadap koridor dari bangunan rumah susun. Sehingga titik pengamatan pada unit hunian ditentukan pada ruang utama yang berdekatan dengan pintu masuk.

Konsekuensi dari orientasi adalah pada sistem pencahayaan alami. Bangunan dengan orientasi barat-timur berpotensi mendapat cahaya matahari langsung, yang mengakibatkan ruangan teradiasi oleh cahaya matahari langsung. Bangunan dengan arah hadap utara-selatan berpotensi sedikit memasukkan radiasi matahari secara langsung,

sehingga penerangan siang hari pada ruangan lebih memanfaatkan cahaya langit.

Menurut aspek kenyamanan termal dan visual, akibat dari sinar matahari langsung selain mengakibatkan efek silau juga mengakibatkan tingginya temperatur dalam ruangan. Bangunan lebih membutuhkan efek pencahayaan yang bersumber dari cahaya langit, selain kualitas cahaya yang tidak menyilaukan juga temperatur ruang lebih nyaman.

Besarnya arah cahaya matahari langsung baik yang memiliki arah hadap barat-timur maupun utara selatan, sepanjang tahunnya senantiasa berbeda. Garis edar matahari terhadap sumbu bumi sepanjang tahun selalu berubah, dimana pada bulan Maret dan bulan September matahari berada tepat digaris katulistiwa. Kota Bandung yang berada pada sekitar 9^o-00" Lintang Selatan posisi matahari tepat berada di Kota Bandung adalah sekitar awal bulan Maret dan September. Sehingga bulan-bulan tersebut adalah saat yang baik untuk mengamati kondisi udara pada unit rumah susun, sehingga nilai rata-rata kondisi udara dapat digunakan untuk mengambil kesimpulan dari kondisi bangunan dalam waktu satu tahun.

Tipe Bangunan

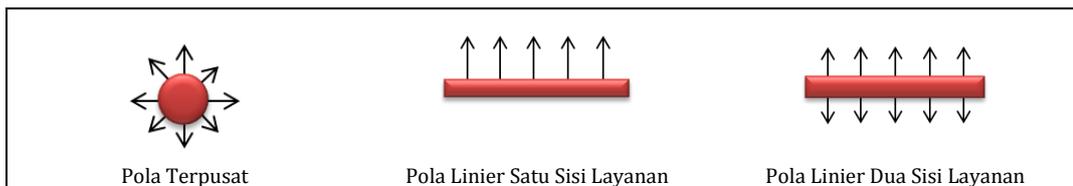
Dalam ilmu tipologi. Tipologi adalah ilmu yang mempelajari tentang pengelompokan sebuah objek. Tipologi berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari "tipo" yang berarti pengelompokan dan "logos" yang berarti ilmu. Tipologi bangunan

berarti ilmu yang digunakan dalam pengelompokan bangunan berdasarkan karakter fisik tertentu dari bangunan.

Rumah susun berdasarkan tipologi bangunan dapat diartikan sebagai pengelompokan bangunan rumah susun berdasarkan karakteristik fisik tertentu. Dalam konteks ini pengelompokan dapat dilakukan melalui pengelompokan berdasarkan pola sirkulasi dalam ruangan sebagai sarana penghubung diantara unit-unit hunian, pengelompokan didasarkan pada pola orientasi dari kelompok unit hunian dalam satu blok rumah susun, pengelompokan berdasarkan pola susunan lantai-lantai bangunan berdasarkan fungsi, pengelompokan berdasarkan peruntukan atau target grup penghuni, dan bentuk pengelompokan lainnya.

Tipe bangunan dalam konteks penelitian ini diarahkan pada pengelompokan berdasarkan pola sirkulasi, komposisi unit hunian pada satu lantai, dan pengelompokan berdasarkan homogenitas penghuni dalam arti kesamaan tingkat sosial.

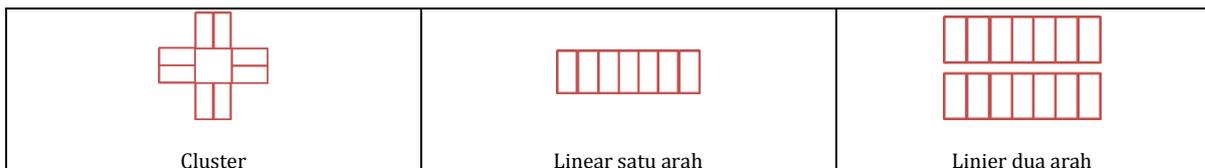
Berdasarkan pola sirkulasi, terdapat tiga tipe pola sirkulasi yang berfungsi sebagai penghubung antara unit-unit hunian, yakni pola terpusat, dimana sirkulasi yang terjadi terkonsentrasi pada satu titik, kedua pola sirkulasi linier yang terbagi lagi menjadi dua pola, yakni pola sirkulasi linier dengan sistem layanan satu sisi (koridor *single loaded*) dan pola sirkulasi linier dengan layanan dua sisi (koridor *double loaded*).



Gambar 1 Pengelompokan Bangunan Rumah Susun Berdasarkan Pola Sirkulasi

Berdasarkan tipe sirkulasi rumah susun dapat dibagi menjadi tiga, yaitu rumah susun dengan sirkulasi memusat, rumah susun dengan sirkulasi

linier satu sisi layanan dan rumah susun dengan sirkulasi linier dua sisi layanan.



Gambar 2 Pengelompokan Bangunan Rumah Susun Berdasarkan Komposisi

Berdasarkan komposisi dari kelompok unit hunian pada setiap lantai, terdiri dari tiga tipe, yakni kelompok dengan komposisi unit hunian menghadap pada satu titik orientasi membentuk

sebuah orientasi, komposisi kedua adalah komposisi unit hunian dengan susunan memanjang secara linier dengan menghadap pada satu arah mata angin yang sama, dan komposisi ketiga

adalah komposisi unit hunian yang memiliki dua arah orientasi serta terdapat unit yang saling berhadapan.

Dari dua tipologi di atas, dapat disimpulkan bahwa rumah susun memiliki tiga tipe, yang dapat dinyatakan sebagai rumah susun tipe memusat dengan sebutan tipe *Tower*, tipe memanjang linier dengan koridor satu sisi layanan yakni tipe *Block Single Loaded*, dan tipe memanjang dengan koridor melayani dua sisi yakni tipe *Block Double Loaded*. Antara komposisi dengan pola sirkulasi keduanya saling menyatu sehingga membentuk satu tipologi.

Posisi Unit Hunian

Posisi unit hunian adalah letak unit hunian terhadap bangunan secara keseluruhan. Posisi unit hunian diindikasikan memiliki perbedaan karakteristik berdasarkan posisi pada arah vertikal dan arah horizontal. Pada arah vertikal memiliki kecenderungan akan mengalami perbedaan pengaruh dari lingkungan luar. Dari aspek angin semakin atas memiliki kecepatan lebih tinggi, cahaya semakin atas memiliki peluang semakin rendah gangguan atau pembayangan dari elemen-elemen lingkungan seperti pohon atau bangunan lainnya, suara selain atas semakin jauh dari sumber kebisingan.

Pada arah horizontal, yakni arah memanjang sejajar lantai, memiliki peluang perbedaan pada posisi unit hunian yang berada di sisi pojok dengan unit hunian yang berada pada posisi tengah. Perbedaan kondisi antara posisi pojok dan posisi tengah adalah pada jumlah sisi yang berinteraksi langsung dengan udara luar, yang lebih banyak pada sisi pojok, sedangkan sisi tengah justru memiliki dua sisi yang berbatasan langsung dengan unit hunian lainnya.

Jenis Bahan Bangunan

Bahan bangunan memiliki sifat fisik yang memungkinkan memberikan dampak pada penghuni yang berbeda, dari aspek kemampuan merambatkan termal terdapat bahan bangunan yang cepat merambatkan pada dari satu sisi ke sisi lain, bahan bangunan yang memiliki kemampuan cukup lama menyimpan panas dan dingin, juga terdapat bahan bangunan yang berpori dan yang pejal. Seluruh sifat-sifat bahan bangunan tersebut dapat mempengaruhi faktor kenyamanan pada ruang dalam bangunan.

Dari aspek proses produksi bahan bangunan tersebut, memiliki beberapa karakteristik, bahan bangunan yang merupakan *raw material* yang bersumber langsung dari alam, bahan bangunan sekunder yang merupakan hasil pengolahan dari

raw material, bahan bangunan tersier dan dimungkinkan juga perpaduan antara bahan bangunan *raw material* dengan sekunder, seperti conblok yang merupakan produk dari komposisi *raw material* seperti pasir dengan semen yang merupakan bahan bangunan sekunder.

Dalam proses produksi bahan bangunan diperlukan sejumlah peralatan yang digerakkan oleh sejumlah energi melalui pembakaran bahan bakar, selain itu juga pada beberapa proses pembuatan bahan bangunan terjadi proses oksidasi.

Kepadatan Hunian (Spasial)

Kenyamanan spasial ditentukan oleh tingkat kepadatan hunian, artinya terdapat kesesuaian antara luas unit hunian dengan jumlah penghuni, menurut Kepmen Kimpraswil Nomor 403/KPTS/M/2002, kebutuhan ruang minimal adalah 9 m² per jiwa [10]. Untuk rata-rata jumlah jiwa dalam sebuah unit hunian sebanyak 4 orang maka luas unit hunian yang diperlukan untuk keluarga tersebut adalah 36 m².

METODOLOGI

Metoda yang digunakan adalah *factorial design*, dimana tipe, orientasi unit hunian serta posisi unit hunian sebagai bentuk perlakuan. Tipe bangunan terdiri dari tiga taraf, yakni tipe *tower*, tipe *block double loaded*, dan tipe *block single loaded*. Orientasi unit hunian terdiri dari empat taraf, yaitu; orientasi utara, barat, selatan, dan timur. Posisi unit hunian terdiri dari sembilan taraf, yaitu; pada arah vertikal dan horizontal masing-masing dibagi menjadi tiga posisi, sehingga total perlakuan menjadi sembilan. Ketiga perlakuan tersebut dikategorikan sebagai variabel independen.

Variabel dependen yang didapat dari hasil pengukuran langsung di lapangan meliputi; suhu (°C), kelembaban (%), angin (m/s) dan intensitas cahaya (lux). Sampel yang dipilih meliputi rumah susun Cigugur Tengah merupakan tipe *tower*, rumah susun Industri Dalam merupakan tipe *block double loaded*, dan rumah susun Sarijadi merupakan tipe *block single loaded*.

Metoda statistik uji perbandingan secara komprehensif dengan melakukan uji antara variabel dependen dan variabel independen secara serentak, melalui uji MANOVA. Uji ini untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dan perbedaan diantara variabel independen, yang dapat mempengaruhi variabel dependen. Variabel independen merupakan grup dinyatakan sebagai variabel faktor, yang terdiri dari variabel faktor 1

tipe bangunan, faktor 2 orientasi dan faktor 3 lokasi hunian. Variabel dependen terdiri dari variabel suhu, variabel kelembaban, variabel angin dan variabel cahaya.

Persamaan model linier yang akan diuji dari pengamatan disain acak sempurna, adalah :

$$Y_{ij} = \mu + V_i + H_j + VH_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

Dimana :

- $i = 1, 2, \dots, v$ (banyaknya perlakuan pada faktor 1)
- $j = 1, 2, \dots, h$ (banyaknya perlakuan pada faktor 2)
- $k = 1, 2, \dots, n$ (banyaknya obeservasi untuk setiap kombinasi perlakuan)

dengan :

- Y_{ij} : variabel respon karena pengaruh bersama taraf ke I faktor A dan taraf ke j faktor B yang terdapat pada obeservasi ke K
- μ : efek umum atau efek rata-rata yang sebenarnya
- V_i : efek sebenarnya dari taraf ke I Faktor V
- H_j : efek sebenarnya dari taraf ke j Faktor H
- VH_{ij} : efek sebenarnya dari interaksi antara ke I faktor A dan taraf ke j faktor B
- $\epsilon_{k(ij)}$: efek sebenarnya dari unit eksperimen ke k dalam kombinasi perlakuan (ij)

Rumus hipotesa yang akan diuji adalah :

Hipotesa 1

- H_{01} : $V_i = 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, v$ (tidak terdapat adanya efek Faktor V)
- H_{11} : $V_i \neq 0$ (terdapat adanya efek Faktor V)

Hipotesa 2

- H_{02} : $H_j = 0$ untuk $j = 1, 2, \dots, h$ (tidak terdapat adanya efek Faktor H)
- H_{12} : $H_j \neq 0$ (terdapat adanya efek Faktor H)

Hipotesa 3

- H_{03} : $VH_{ij} = 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, v$, dan untuk $j = 1, 2, \dots, h$ (tidak terdapat adanya efek Faktor V dan Faktor H)
- H_{13} : $VH_{ij} \neq 0$ (terdapat adanya efek Faktor V dan Faktor H)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Data

Observasi dilakukan pada tiga rumah susun, masing-masing dibagi pada empat kelompok observasi berdasarkan orientasi, pada setiap orientasi ditentukan sembilan sampel posisi unit hunian, terdiri dari kiri-atas, kiri tengah, kiri bawah, tengah atas, tengah-tengah, tengah-bawah, kanan-atas, kanan-tengah, dan kanan-bawah. Masing-masing sampel dilakukan 12 kali pengukuran, yang dilakukan setiap jam dari jam 07:00 sampai dengan 18:00, sehingga total jumlah pengukuran (N) 1296 pengukuran. Jumlah unit

sampel 108 sampel, masing-masing rumah susun terdiri dari 36 sampel.

Tabel 1 Kompilasi Data Pengukuran

	N	Range	Min.	Max.	Mean	Std. Deviation
Suhu	1296	7,20	23,30	30,50	26,9225	1,41100
Kelembaban	1296	51	46	97	67,13	7,191
Kcp. Angin	1296	1,20	0,00	1,20	0,1186	0,22631
Cahaya	1296	690,00	60,00	750,00	292,4537	159,931
Valid N (listwise)	1296					

Setelah melalui proses analisis data dinyatakan berkarakteristik normal sehingga analisis disain faktorial dapat dilakukan kecuali pada data angin yang distribusi datanya tidak normal, sedangkan data kelembaban dapat dinyatakan normal. Dari hasil pengujian homogenitas sampel menunjukkan data identik kecuali data angin. Ketiga sampel lainnya menunjukkan nilai signifikansi di atas 5%, yang meliputi; data intensitas cahaya nilai signifikansi 0,107; suhu 0,989; kelembaban 0,903; dan angin 0,000.

Rumah Susun Cigugur Tengah

Pada setiap posisi unit hunian didefinisikan kedalam dua faktor pelakuan berdasarkan posisi pada arah vertikal dan posisi pada arah horisontal. Masing-masing faktor terdiri dari tiga (3) level yaitu; untuk Faktor Vertikal terdiri dari bawah (1), tengah (2), dan atas (3); untuk Faktor Horisontal terdiri dari kiri (A), tengah (B), dan kanan (C). Sehingga dapat dinyatakan untuk analisis faktorial V (vertikal) – H (horizontal) terdiri dari sembilan sampel.

Hasil analisis faktorial V-H Tipe Tower dengan orientasi utara, dinyatakan bahwa matrik *varians-covarians* sama, baik pada posisi hunian vertikal maupun horizontal, hal ini ditunjukkan pada nilai signifikansi hasil tes Levene menurut Santoso [8], dimana kenyamanan visual 0,080 dan kenyamanan termal 0,082. Artinya ketika variabel tersebut *varians-covarians*-nya sama. Namun tidak dengan nilai kecepatan angin dan kelembaban memiliki nilai signifikansi 0,000, karena nilai signifikansinya dibawah 5%. Walaupun nilai signifikansi pada Box's M adalah 0,012 kurang dari 5%, menurut Santoso [8] karena Levene test tiga variabel tersebut melebihi 5% maka *varians-covarians*-nya dianggap sama.

Dengan hipotesa H_0 : rata-rata variabel dependen (suhu, kelembaban, angin dan cahaya) dari masing-masing posisi (Faktor V dan H) tidak menunjukkan perbedaan yang disebabkan oleh faktor posisi unit hunian horizontal dan vertikal H_1 : Rata-rata variabel dependen (suhu, kelembaban, dan cahaya) menunjukkan perbedaan yang jelas pada masing-masing lokasi unit (faktor Orientasi, Faktor V dan

H, interaksi O-V; O-H; dan H-V). Jika nilai probabilitas lebih besar dari 5% maka H_0 diterima, jika nilai signifikansi kurang dari 5% maka H_0 ditolak.

Orientasi, memiliki nilai signifikansi sama dengan nol (0), menurut Santoso [10] mengacu pada nilai *Pillai's Trace*, *Wilks' Lambda*, *Hotelling's Trace*, atau *Roy's Largest Root* artinya H_0 ditolak sehingga rata-rata variabel dependen (suhu, kelembaban, dan cahaya) menunjukkan perbedaan yang jelas pada setiap orientasi bangunan (utara, selatan, barat, dan timur).

Faktor H memiliki nilai signifikansi sama dengan nol (0), nilai *Pillai's Trace*, *Wilks' Lambda*, *Hotelling's Trace*, maupun *Roy's Largest Root* artinya H_0 ditolak, sehingga rata-rata variabel dependen (suhu, kelembaban, dan cahaya) menunjukkan perbedaan yang jelas antara masing-masing lokasi unit pada posisi horizontal.

Faktor V memiliki nilai signifikansi 0,004, nilai *Pillai's Trace* dan *Wilks' Lambda*, dan 0,003 menurut *Hotelling's Trace*, sedangkan nol (0) menurut *Roy's Largest Root* artinya nilai signifikansi masih di bawah 5%, yang berarti $H_0 =$ ditolak, sehingga rata-rata variabel dependen (suhu, kelembaban, dan cahaya) menunjukkan perbedaan yang jelas antara masing-masing lokasi unit pada posisi horizontal.

Hipotesis untuk interaksi variabel, H_0 : tidak ada interaksi antara orientasi dengan posisi unit hunian (Faktor V atau H); H_1 : ada interaksi antara orientasi dengan posisi unit hunian (Faktor V atau H). pada baris Orientasi*Faktor V maupun Orientasi* Faktor H kedua-duanya memiliki nilai signifikansi di bawah 5%, yaitu nol (0), maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan adanya interaksi antara orientasi dengan variabel posisi unit hunian, baik posisi pada arah vertikal maupun pada arah horizontal.

Sedangkan nilai signifikansi antara interaksi Faktor V*Faktor H memiliki nilai signifikansi jauh di atas 5%, yaitu 0,995, maka dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi interaksi antar posisi unit hunian. Demikian juga interaksi 3 faktor, yaitu; Orientasi*Faktor V*Faktor H memiliki nilai signifikansi di atas 5%.

Rumah Susun Industri Dalam

Objek studi bangunan rumah susun dengan tipe *Block Double Loaded* (BDL) adalah pada rumah susun Industri Dalam Blok A, Blok B, dan Blok C. Tiga variabel menurut uji Levene memenuhi syarat (Sig. lebih besar dari 5%) untuk dilakukan analisis

adanya pengaruh orientasi dengan posisi hunian pada arah vertikal maupun horizontal terhadap nilai suhu, intensitas cahaya dan kelembaban ruang.

H_0 : Variabel dependen (suhu, kelembaban, angin, dan cahaya) memiliki *varians-covarians* yang sama, baik pada tingkat orientasi, Faktor V maupun Faktor H. H_1 : Variabel dependen (suhu, kelembaban, angin, dan cahaya) memiliki *varians-covarians* yang berbeda, baik pada tingkat orientasi, Faktor V maupun Faktor H. Karena signifikansi variabel suhu (0,999), RH (0,372), dan Cahaya (0,05) berada di atas 5%, maka variabel tersebut memiliki *varians-kovarians* yang sama pada tingkat orientasi, Faktor V dan Faktor H.

Analisis *Multivariate Tests* menunjukkan, apakah terdapat perbedaan yang nyata antara *output*, diuji melalui hipotesa H_0 : Variabel *dependen* (suhu, RH, cahaya) secara bersama-sama tidak menunjukkan perbedaan pada tingkat orientasi/Faktor V/Faktor H. H_1 : Variabel *dependen* (suhu, RH, cahaya) secara bersama-sama menunjukkan perbedaan pada tingkat orientasi/Faktor V/Faktor H. ketiga variabel menurut hasil tes *Multivariate* menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 5% pada variabel orientasi, variabel Faktor H dan variabel Faktor V, maka H_0 pada ketiga variabel tersebut ditolak, artinya; variabel suhu, RH, dan cahaya secara bersama-sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada tingkat orientasi. Dimungkinkan orientasi yang berbeda, posisi unit hunian yang berbeda akan memberikan tingkat kenyamanan yang berbeda.

Hipotesis untuk variabel dependen H_0 : tidak ada interaksi antara orientasi, dengan faktor lokasi vertikal, dengan faktor lokasi horizontal, H_1 : ada interaksi antara variabel-variabel orientasi, Faktor Hunian vertikal, dengan faktor hunian horizontal. Jika Sig. > 0,05 maka H_0 diterima, sebaliknya jika Sig. < 0,05 maka H_0 ditolak. Mengacu pada nilai signifikansi lebih besar dari 5% maka H_0 diterima, artinya tidak ada interaksi antara variabel-variabel orientasi, Faktor V dan Faktor H. Nilai signifikansi dari orientasi * Faktor H, orientasi * Faktor V, Faktor H * Faktor V, dan Orientasi * Faktor H * Faktor V nilainya berada di atas 5% maka H_0 diterima, yang menunjukkan tidak ada interaksi antara variabel orientasi dengan Faktor H dengan Faktor V. Masing-masing variabel mempengaruhi variabel suhu, RH dan cahaya secara masing-masing.

Hal ini menunjukkan bahwa tinggi rendahnya suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya tidak dapat

ditentukan oleh variabel orientasi dan posisi unit secara bersama-sama, namun dapat ditentukan melalui orientasi dan posisi unit hunian secara masing-masing. Baik orientasi, posisi unit hunian dapat menentukan tinggi rendahnya temperatur, kelembaban dan intensitas cahaya, namun kombinasi dari orientasi dan posisi unit hunian tidak dapat digunakan sebagai penentu tinggi rendahnya suhu, kelembaban, maupun intensitas cahaya.

Tabel *tests of Between-Subjects Effects* menurut Santoso [10] adalah untuk melihat signifikansi dari masing-masing variabel dependen, apakah ada efek yang signifikan dari orientasi, posisi unit hunian (Faktor V maupun Faktor H) secara masing-masing terhadap nilai suhu, RH dan pencahayaan. Asumsi hipotesis adalah H_0 : rata-rata nilai temperatur (suhu); kelembaban (RH); pencahayaan (lux) tidak menunjukkan perbedaan pada kenyamanan visual, kenyamanan termal, kenyamanan udara (kelembaban), H_1 : rata-rata nilai temperatur (suhu); kelembaban (RH); pencahayaan (Lux) menunjukkan perbedaan yang jelas pada kenyamanan visual, kenyamanan termal, kenyamanan udara (kelembaban). Jika angka Sig. > 0,05 maka H_0 diterima, jika Sig. < 0,05 maka H_0 ditolak.

Orientasi dengan nilai signifikansi nol (0) yakni kurang dari 5%, maka H_0 ditolak, artinya H_1 diterima, rata-rata temperatur/ kenyamanan termal (0,000), kenyamanan udara kelembaban (0,000), dan kenyamanan visual (0,002) menunjukkan perbedaan yang jelas pada setiap orientasi yang berbeda (utara-selatan-barat-timur).

Variabel/Faktor V dan Faktor H dengan nilai signifikansi di atas 5%, maka H_0 diterima, dengan demikian rata-rata temperatur/kenyamanan termal, kenyamanan udara kelembaban, dan kenyamanan visual menunjukkan tidak ada perbedaan pada setiap orientasi yang berbeda (utara-selatan-barat-timur). Dengan demikian variabel Orientasi * Faktor V * Faktor H secara bersama-sama tidak dapat digunakan sebagai indikator terhadap perbedaan termal, kelembaban maupun intensitas cahaya.

Rumah Susun Sarijadi

Objek studi bangunan *single loaded* adalah rumah susun Sarijadi, yang memiliki perbedaan dengan kasus rumah susun Cigugur Tengah Cimahi, yaitu pada lantai dasar berbatasan langsung dengan muka tanah, berbeda dengan Cigugur dimana pada

bagian bawah lantai berhubungan dengan ruang publik (sarana ruang bersama).

Dari tabel tes Levene, menurut Santoso [8] dapat disimpulkan bahwa data suhu dan data pencahayaan merupakan data yang homogen, karena nilai signifikansi dari variabel kenyamanan visual lebih besar dari 5%, yaitu 0,161. Sama halnya dengan variabel kenyamanan termal memiliki nilai signifikansi 0,058 lebih besar sedikit dari 5%. Sedangkan untuk variabel kelembaban dan variabel kecepatan angin nilai signifikansi di bawah 5% artinya kedua data tersebut tidak homogen. Untuk variabel angin karena distribusi data tidak normal, maka data ini tidak digunakan dalam analisa multivarian ini.

Dari hasil analisis faktorial antara variabel Orientasi*Faktor V*Faktor H, menunjukkan bahwa nilai signifikansi dari orientasi bangunan memiliki nilai nol (0) yang berarti lebih kecil dari 5%, maka dapat disimpulkan bahwa variabel orientasi bangunan berpengaruh secara signifikan terhadap besar kecilnya nilai kenyamanan termal, visual maupun udara.

Faktor H memiliki nilai signifikansi nol (0) yang berarti adanya perbedaan suhu, termal dan kelembaban yang disebabkan oleh faktor posisi unit hunian. Adanya perbedaan yang signifikan dari variabel dependen tersebut pada setiap posisi unit hunian yang berbeda.

Hal yang sama juga terjadi pada Faktor V memiliki nilai signifikansi nol (0) yang berarti adanya perbedaan suhu, termal dan kelembaban yang disebabkan oleh faktor posisi unit hunian. Adanya perbedaan yang signifikan dari variabel dependen tersebut pada setiap posisi unit hunian yang berbeda.

Interaksi antara Orientasi*Faktor H memiliki nilai signifikansi dari *Pillai's Trace*, *Wilks' Lambda*, dan *Hotelling's Trace* lebih besar dari 5%, yaitu 0,512; 0,513; 0,514 berbeda dengan nilai signifikansi dari *Roy's Largest Root* memiliki nilai kurang dari 5%, yaitu 0,035. Artinya interaksi Orientasi*Faktor H memiliki pengaruh terhadap perbedaan nilai suhu, intensitas cahaya, maupun kelembaban. Berbeda dengan tiga metoda sebelumnya yang menghasilkan nilai signifikansi lebih besar dari 5% yang berarti interaksi Orientasi*Faktor H tidak memiliki perbedaan yang nyata pada variabel suhu, termal dan kelembaban. Untuk itu, kesimpulan diambil berdasarkan metoda dari *Roy's Largest Root*.

Interaksi antara Orientasi*Faktor V bernilai signifikansi nol (0), hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara orientasi dengan posisi unit hunian pada arah vertikal memiliki pengaruh terhadap besar kecilnya nilai suhu, intensitas cahaya dan kelembaban unit hunian. Memperhatikan nilai signifikansi dari interaksi-interaksi selanjutnya yang berada di bawah 5%, menunjukkan bahwa interaksi orientasi dengan Posisi unit hunian pada arah vertikal, interaksi antara posisi unit hunian vertikal dengan posisi unit hunian horizontal serta interaksi antara ketiganya, yaitu orientasi, posisi unit hunian arah vertikal dan horizontal memiliki nilai yang berbeda pada variabel suhu, cahaya dan kelembaban.

Perbandingan Ketiga Rumah Susun

Analisa faktorial tipe bangunan terhadap orientasi dan posisi unit hunian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana masing-masing faktor serta interaksi antara faktor mempengaruhi pada variabel dependen (suhu, kelembaban, angin dan cahaya).

Tahap pertama dalam analisis variabel dependen adalah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang berarti? Dari efek rata-rata tiap taraf serta meneliti secara bersama efek daripada beberapa faktor serta kombinasi antara faktor. Tiga faktor perlakuan disain meliputi; Faktor_1 adalah orientasi yang dikategorikan ke dalam; orientasi arah utara (1), timur (2), selatan (3) dan barat (2). Faktor_2 meliputi tipe bangunan yang terdiri dari tiga taraf, yakni tipe Tower (1), tipe BDL (2), dan tipe BSL (3). Serta faktor_3 Posisi Unit Hunian.

Dari total 1.296 observasi (N) dapat dikelompokkan menjadi (1) pengamatan berdasarkan perlakuan pertama, yakni; Faktor_1 dilakukan pengamatan sebanyak 324 kali dari masing-masing objek yang diamati, diambil 9 hasil pengamatan. (2) pengamatan terhadap perlakuan kedua Faktor_2 tipe bangunan, yang dibagi dalam tiga taraf, dengan masing-masing data observasi sebanyak 432 pengamatan, dan (3) pengamatan terhadap posisi unit hunian yang terdiri dari sembilan taraf dengan jumlah observasi sebanyak 144 pengamatan dengan masing-masing 12 kali observasi.

Analisa untuk Orientasi (Faktor_1), Tipe Bangunan (faktor_2) dan Posisi Unit Hunian (faktor_3) secara independen, diajukan hipotesis H_0 : empat sampel orientasi rata-rata vektor sampel dari skor rata-rata adalah identik, H_1 : empat sampel orientasi rata-rata vektor sampel dari skor rata-rata adalah

berbeda. Penyimpulan mengacu pada alat analisis dari *Pillai's Trace*, *Wilks' Lambda*, *Hotelling's Trace* atau *Roy's Largest Root*, dimana bila nilai signifikansi $> 5\%$ maka H_0 diterima dan bila $< 5\%$ maka H_0 ditolak.

Nilai signifikansi dari Faktor_1 (Orientasi) menunjukkan angka kurang dari 5%, hal ini berarti H_0 ditolak. Yang berarti keempat sampel Orientasi rata-rata vektor sampel dari skor rata-rata adalah berbeda. Faktor_2 (Tipe Bangunan) juga memiliki nilai signifikansi kurang dari 5%, hal ini menunjukkan ketiga sampel dari tipe bangunan rata-rata vektor sampel dari skor rata-rata adalah berbeda. Demikian halnya dengan posisi unit hunian memiliki nilai signifikansi kurang dari 5%, menunjukkan bahwa posisi unit hunian mempengaruhi variabel dependen suhu, pencahayaan dan kelembaban.

Analisa interaksi antara 2 variabel dan 3 variabel, meliputi interaksi antara variabel Orientasi dengan Tipe Bangunan, interaksi antara variabel orientasi dengan posisi unit hunian dan interaksi antara variabel tipe bangunan dengan posisi unit hunian serta interaksi diantara ketiga variabel secara bersama-sama (Orientasi-Tipe Bangunan, dan Posisi Unit Hunian), apakah berpengaruh terhadap variabel dependen suhu, pencahayaan, kelembaban dan angin.

Hipotesa yang diajukan adalah H_0 : tidak ada dampak interaksi antara variabel Faktor_1, Faktor_2 dan atau Faktor_3 terhadap variabel dependen Suhu, Kelembaban, Kecepatan Angin dan Cahaya. H_1 : ada dampak interaksi antara variabel Faktor_1, Faktor_2 dan atau Faktor_3 terhadap variabel dependen Suhu, Kelembaban, Kecepatan Angin dan Cahaya. Kesimpulan diambil berdasarkan nilai probabilitas, jika nilai signifikansi (probabilitas) lebih besar dari 5% maka H_0 diterima, jika nilai signifikansi kurang dari 5% maka H_0 ditolak.

Interaksi antara Orientasi dan Tipe Bangunan mempengaruhi (berdampak) pada rata-rata nilai suhu, kelembaban, angin dan pencahayaan. Sedangkan interaksi antara Orientasi dan Posisi Unit Hunian tidak berdampak pada nilai rata-rata suhu, kelembaban, angin dan pencahayaan.

Rata-rata nilai dari variabel dependen dipengaruhi oleh Orientasi dan Tipe secara bersama-sama. Sedangkan antara Orientasi dengan Posisi Unit Hunian tidak berpengaruh terhadap nilai dari variabel dependen. Sehingga dalam proses disain rumah susun rendah emisi, aspek yang harus

mendapat perhatian adalah kombinasi antara Orientasi dengan Tipe.

Uji variabel dependen suhu, kelembaban, kecepatan angin dan cahaya, hipotesa H_0 = keempat variabel dependen mempunyai varians-kovarians yang sama, baik pada arah orientasi, tipe bangunan dan posisi unit hunian. H_i = keempat variabel dependen mempunyai matrik varians-kovarians yang berbeda, baik pada orientasi, tipe bangunan maupun posisi unit hunian. Untuk nilai signifikansi $> 0,05$ maka H_0 diterima dan jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka H_0 ditolak.

Mengacu pada setiap variabel dependen, maka tidak secara bersama-sama pengaruh setiap faktor memiliki nilai pengaruh yang sama. Faktor Orientasi dan Tipe Bangunan mempengaruhi semua aspek (suhu, kelembaban, angin dan cahaya) yang diterima oleh unit hunian. Sedangkan faktor posisi unit hunian berpengaruh hanya pada aspek pencahayaan, artinya setiap posisi yang berbeda akan mempengaruhi pada besar kecilnya kualitas cahaya dalam unit hunian.

Interaksi antara orientasi dengan tipe bangunan secara signifikan mempengaruhi perbedaan kualitas cahaya, suhu, angin maupun kelembaban, sedangkan interaksi antara orientasi dengan posisi unit hunian tidak berdampak pada perbedaan suhu, kelembaban, angin maupun cahaya pada setiap unit hunian.

Sedangkan interaksi antara orientasi dan posisi unit hunian, hanya berpengaruh pada kualitas pencahayaan, terhadap suhu, kelembaban serta angin tidak memiliki dampak apapun. Demikian halnya dengan interaksi antara ketiga faktor Orientasi*Tipe Bangunan *Posisi Unit Hunian tidak memberikan dampak pada perbedaan suhu, kelembaban, angin maupun kualitas cahaya.

Tabel 2 Pengelompokkan Tipe Bangunan terhadap Aspek Kenyamanan Visual

Tipe Bangunan	Jumlah Observasi	Kelompok Homogen	
		1	2
BDL (Industri Dalam)	432	193.0556	
Tower (Cigugur Tengah)	432		331.5509
BSL (Sarijadi)	432		352.7546
Sig.		1.000	.065

Pengelompokkan tingkat kenyamanan termal dan visual berdasarkan tipe bangunan menurut Santoso [8] mengacu pada metoda **Tukey HSD** tabel 2. Dari aspek pencahayaan terdapat dua kelompok dengan tingkat homogenitas yang tidak terlalu kuat, yakni kelompok dengan intensitas cahaya rendah terdapat pada bangunan tipe BDL dan kelompok dengan tingkat pencahayaan baik dan

cenderung dalam satu kelompok adalah tipe *Tower* dan Tipe BSL, dengan nilai signifikansi 0,065. Mengacu pada nilai signifikansi tersebut, maka tingkat homogenitas antara tipe *Tower* dan BSL hampir tidak homogen (kurang kuat).

Tabel 3 Pengelompokkan Tipe Bangunan terhadap Aspek Kenyamanan Termal

Tipe Bangunan	Jumlah Observasi	Kelompok Homogen	
		1	2
Tower (Cigugur Tengah)	432	26.0736	
BSL (Sarijadi)	432		27.2836
BDL (Industri Dalam)	432		27.4102
Sig.		1.000	.300

Dari aspek kenyamanan termal tabel 3. berdasarkan tipe bangunan terdapat dua pengelompokkan tingkat homogenitas, yakni kelompok pertama rumah susun tipe *Tower* memiliki tingkat kenyamanan lebih baik dengan temperatur rata-rata 26,07°C. Kelompok homogenitas kedua terdiri dari rumah susun tipe BDL dan tipe BSL, masing-masing memiliki tingkat kenyamanan dengan rata-rata temperatur untuk BSL 27,28 °C dan tipe BDL 27,41 °C. Pada kelompok kedua tingkat kepercayaan dengan nilai signifikansi 0,30 menunjukkan nilai yang tidak terlalu kuat.

Rata-rata temperatur pada bangunan rumah susun tipe *Tower* mendekati pada suhu nyaman sesuai dengan standar kenyamanan termal. Bila ditinjau dari aspek kenyamanan termal, maka peluang emisi CO₂ pada rumah susun dengan tipe *Tower* lebih kecil dibandingkan dengan rumah susun tipe *Block*.

Tabel 4 Pengelompokkan Tipe Bangunan terhadap Aspek Kenyamanan Udara (Kelembaban)

Tipe Bangunan	Jumlah Observasi	Kelompok Homogen		
		1	2	3
BDL (Industri Dalam Tengah)	432	64,1829		
Tower (Cigugur Tengah)	432		68,1227	
BSL(Sarijadi)	432			69,0833
Sig.		1,000	1,000	1,000

Dari aspek tingkat kelembaban tabel 4 terjadi tiga pengelompokkan dari tiga tipe yang diuji, artinya masing-masing tipe bangunan memiliki tingkat kelembaban yang berbeda-beda. Masing-masing tipe bangunan berpengaruh terhadap kualitas kelembaban udara (aspek kelembaban). Dimana tipe BDL memiliki tingkat kelembaban paling rendah yakni 64,18%, tipe *Tower* 68,12% dan tipe BSL 69,08%. Dengan demikian tipe BDL memiliki nilai rata-rata kelembaban sesuai dengan tingkat kenyamanan udara.

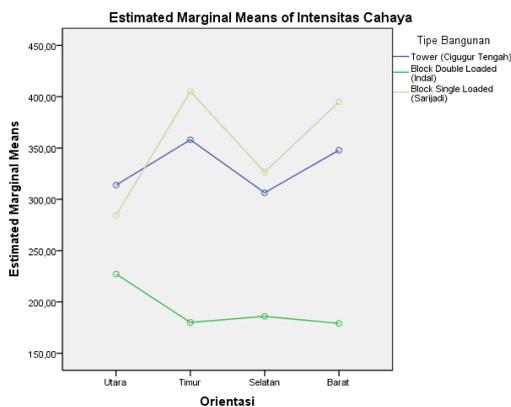
Kualitas pergerakan udara dari aspek kecepatan angin, meskipun data kecepatan angin terdistribusi tidak normal, namun kondisi unit hunian pada setiap tipe dapat digambarkan seperti pada tabel 5. yakni terjadi tiga pengelompokkan dengan tingkat kenyamanan berada pada tipe *Tower* dan tipe BDL, dengan nilai-rata berada pada range tingkat kenyamanan di bawah nilai standar.

Tabel 5 Pengelompokkan Tipe Bangunan terhadap Aspek Kenyamanan Udara Angin

Tipe Bangunan	Jumlah Observasi	Kelompok Homogen		
		1	2	3
BDL (Industri Dalam)	432	.00165		
Tower (Cigugur Tengah)	432		.11321	
BSL (Sarijadi)	432			.24086
Sig.		1.000	1.000	1.000

Berdasarkan tipe dan orientasi dari aspek kenyamanan visual bangunan rumah susun dengan tipe BDL, rata-rata intensitas pencahayaan berada pada range standar kenyamanan visual, yakni antara 120 lux s.d. 250 lux. Perilaku intensitas cahaya pada tipe BDL terhadap orientasi memiliki pola yang berbeda dengan tipe *Block*, baik tipe *Tower* maupun tipe BSL. Pada tipe BDL arah utara-selatan memiliki rata-rata intensitas yang lebih tinggi (di atas) dan intensitas pada arah barat-timur cenderung menurun atau di bawah.

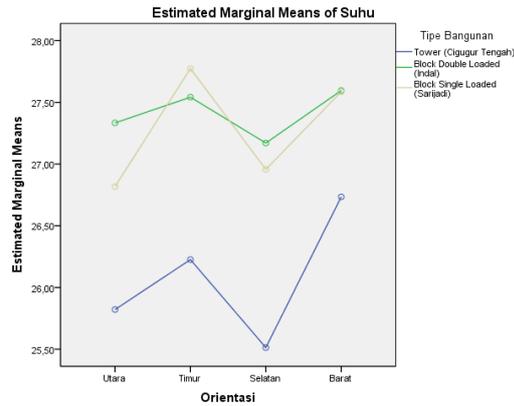
Pola pada tipe *Block* justru berbanding terbalik dibandingkan dengan tipe BDL, pada arah utara-selatan kualitas cahaya berada pada nilai rata-rata rendah (di bawah), sedangkan pada arah orientasi barat-timur nilai rata-rata intensitas cahaya berada pada tertinggi. Hal ini menunjukkan dampak dari tipe akan mempengaruhi pola penerangan pada unit hunian bangunan rumah susun. Dari aspek kualitas cahaya tipe *Tower* dan BSL juga memiliki nilai jauh di atas rata-rata bangunan tipe BDL.



Grafik 3 Pola Distribusi Cahaya Berdasarkan Tipe dan Orientasi

Dari grafik 1. aspek pencahayaan berdasarkan orientasi antara tipe *Tower* dengan tipe BSL berada pada kelompok homogenitas yang sama.

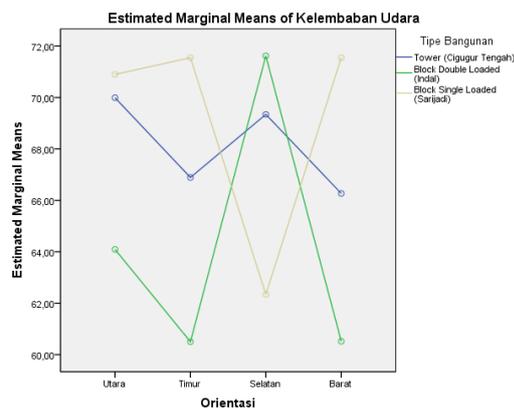
Sedangkan tipe BDL memiliki karakteristik yang jauh berbeda dengan tipe *Tower* dan BSL.



Grafik 4 Pola Distribusi Suhu Berdasarkan Tipe dan Orientasi

Dari grafik 2. aspek termal tidak terdapat perbedaan pola distribusi rata-rata suhu pada berbagai orientasi untuk setiap tipe yang berbeda. Bangunan dengan orientasi utara-selatan cenderung memiliki kualitas suhu lebih rendah dibandingkan dengan orientasi barat-timur. Perbedaan terdapat pada tipe, dimana tipe *Tower* memiliki nilai rata-rata lebih rendah di bawah rata-rata suhu tipe *Block*.

Dari aspek pengelompokkan tipe *Tower* berada pada kelompok yang terpisah dengan tipe *Block*, dimana tipe *Block* baik tipe BDL maupun tipe BSL memiliki karakteristik dan pola distribusi rata-rata temperatur yang sama.



Grafik 5 Pola Distribusi Kelembaban Berdasarkan Tipe dan Orientasi

Pada grafik 3. aspek kelembaban unit hunian pada berbagai tipe bangunan terdapat perbedaan pada ketiga tipe berdasarkan arah orientasi yang berbeda. Secara keseluruhan tipe BDL memiliki kualitas kelembaban lebih rendah dari tipe *Tower* maupun tipe BSL, kecuali pada unit hunian tipe BDL dengan arah orientasi selatan memiliki nilai

tinggi mendekati rata-rata nilai tertinggi dari kelembaban pada tipe bangunan BSL.

Secara pola distribusi tipe BDL memiliki kesamaan pola dengan tipe *Tower* dimana arah utara-selatan memiliki nilai rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan arah orientasi barat-timur. Namun pada tipe BDL dengan arah timur nilai kelembaban naik melampaui nilai kelembaban rata-rata tipe *Tower*, sedangkan arah orientasi barat-timur serta arah utara pada bangunan BDL berada jauh di bawah tipe *Tower*.

Pola berbeda terjadi pada tipe BSL, yakni berbanding terbalik dengan tipe *Tower* maupun tipe BDL, dimana arah utara-selatan memiliki nilai rata-rata kelembaban lebih rendah dibandingkan dengan arah barat-timur. Dengan demikian dari aspek kelembaban unit hunian berdasarkan orientasi dan tipe bangunan, maka terdapat tiga pengelompokan, atau ketiga tipe masing-masing memberikan dampak yang berbeda terhadap aspek kelembaban bangunan.

KESIMPULAN

Pada rumah susun Cigugur Tengah, Industri Dalam, dan Sarijadi bahwa variabel dependen suhu, variabel kelembaban, dan variabel cahaya dipengaruhi oleh orientasi dan posisi unit hunian, serta dipengaruhi oleh adanya interaksi antara orientasi dengan posisi baik pada arah vertikal maupun arah horizontal.

Orientasi bangunan memberikan pengaruh yang kuat terhadap nilai kenyamanan termal, sehingga akan mempengaruhi besar-kecilnya nilai emisi CO₂ pada tahap operasional bangunan. Bangunan dengan orientasi utara-selatan memiliki tingkat kenyamanan lebih baik, sehingga nilai emisi CO₂ rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan emisi CO₂ bangunan dengan orientasi barat-timur. Pengaruh orientasi cukup signifikan pada bangunan tipe *Block*, baik rumah susun Industri Dalam (*Double Loaded*) maupun rumah susun Sarijadi (*Single Loaded*). Berbeda dengan rumah susun Cigugur Tengah (tipe *Tower*) orientasi bangunan nyaris tidak memiliki perbedaan tingkat kenyamanan ada setiap arah orientasi, sehingga nilai emisi CO₂-nya pada berbagai orientasi akan relatif sama.

Faktor tipe, orientasi dan posisi unit hunian merupakan faktor yang berpengaruh terhadap disain dengan bobot 13,2%, dimana 90,9% dipengaruhi oleh tipe bangunan, 8,3% oleh orientasi dan 0,075% oleh posisi unit hunian. Sehingga faktor dominan yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal pada rumah susun adalah, Tipe Bangunan, selanjutnya Orientasi Bangunan serta interaksi antara Orientasi*Tipe Bangunan. Sedangkan posisi unit hunian hampir tidak berpengaruh besar terhadap kenyamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 2005, *Status Lingkungan Hidup Indonesia 2005*, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, RI.
- Baker, S., 2006, *Sustainable Development*, Routledge Taylor and Francis Group, London and New York.
- Edwards, B., and Turrent, D., 2000, *Sustainable Housing, Principles and Practice*, E & FN SPON, Taylor and Francis Group, London and New York.
- Fatihah, A. A., 2008, *Global Warming, Sebuah Isyarat Dekatnya Akhir Zaman dan Kehancuran Dunia*, Granada Mediatama, Jawa Tengah.
- IPCC, 2003, *Progress Report on the Establishment of a Database on GHG Emission Factor*, <http://www.ipcc.com>
- IPCC, Mangino, J., Mareckova, K., et al. 2010, *Establishment of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Emission Factor Database*, <http://www.ipcc.com>
- Karyono, T.H., 2010, *Green Architecture, Pengantar Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia*, Rajawali Pers, Jakarta.
- Santoso, S., 2010, *Statistik Multivariate, Konsep dan Aplikasi dengan SPSS*, Elex Media Komputindo.
- Vale, Brenda & Vale, Robert., 1991, *Green Architecture, Design for an Energy-Conscious Future*, A Bulfinch Book, Little, Brown and Company, London.
- _____, 2002, *Pedoman Teknis Rumah Sederhana Sehat*, Kepmen Kimpraswil Nomor 403/KPTS/M/2002.
- _____, 2010, *Data Kependudukan*, Badan Pusat Statistik Indonesia.