

## **METODE KOVARIANSI DALAM PENILAIAN KINERJA KEMAMPUAN ADAPTASI BANGUNAN TERHADAP LINGKUNGAN Covariance Method in Measurement of Building Ability on Adaptation to Environment**

**<sup>1</sup>Arief Sabaruddin, <sup>2</sup>Tri Harso Karyono, <sup>3</sup>Rumiati R. Tobing**

<sup>1</sup> Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum  
Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan Kabupaten Bandung 40393

E-mail : ars@puskim.pu.go.id

<sup>2</sup> Pengajar Fakultas Teknik Arsitektur, Universitas Tarumanegara,  
Jl. Kyai Tapa No. 1 Grogol, Jakarta 1140

E-mail : t\_karyono@yahoo.com

<sup>3</sup> Pengajar Fakultas Teknik Arsitektur, Universitas Katolik Parahyangan  
Jl. Ciumbuleuit No. 90 Bandung

E-mail : limtob@indo.net.id

Diterima : 27 Desember 2012; Disetujui : 19 Maret 2013

### **Abstrak**

*Penelitian arsitektur terkait dengan pengukuran kinerja bangunan terhadap kemampuan adaptasi pada lingkungan (iklim mikro), sering sekali terkendala oleh kondisi tempat dan cuaca, yang tidak memiliki kesamaan ketika kegiatan pengukuran dilakukan pada beberapa sampel. Beberapa variabel data yang diukur sulit untuk dikontrol, seperti dalam pengukuran udara (iklim mikro). Pada kasus penelitian pengaruh desain terhadap kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan, diperlukan beberapa sampel yang diambil dari desain yang berbeda. Kegiatan membandingkan kinerja dua objek bangunan pada lokasi yang berbeda, seperti perbedaan lokasi antara kawasan pantai dataran rendah dengan lokasi pada dataran tinggi. Kinerja bangunan dalam hal ini dinyatakan sebagai kemampuan desain bangunan untuk beradaptasi terhadap lingkungan outdoor terhadap lingkungan indoor. Bangunan berfungsi melindungi penghuninya dari gangguan di luar bangunan. Dalam penelitian arsitektur demikian terdapat tiga variabel utama, yakni, sebagai variabel dependen adalah lingkungan indoor, variabel independen adalah lingkungan outdoor dan variabel faktor adalah aspek-aspek desain. Metode Analisa Kovariansi sudah umum digunakan pada penelitian pada disiplin ilmu di luar disiplin arsitektur. Tulisan ini menjelaskan penerapan metode dengan Analisa Kovariansi dalam mengukur kinerja desain bangunan secara murni tanpa pengaruh perbedaan tempat dan iklim mikro.*

**Kata Kunci :** *Analisa kovariansi, variabel respon, variabel konkomitan, variabel faktor, taraf*

### **Abstract**

*Architectural researches related to building performance measurement on adaptation to environment (micro climate) are mostly constrained by position and climate conditions which do not have any similarity when measuring on several samples. Some data variables are difficult to be controlled, such as air measurement (climate micro). Researches of influence of design toward adaptation ability to environment need several samples taken from different designs. Measuring processes are held on two building objects on different locations, for example one building on lowland and another on highland. In this case, building performance means ability of building design to adapt outdoor environment toward indoor environment. Function of building is protecting householder toward threats outside the building. In architectural research there are three main variables, they are indoor environment as dependent variable, outdoor environment as independent variable, and design aspect as factor variable. Covariance analysis method is popularly used in non-architectural researches. This report explains application of covariance analysis method in measuring building design performance purely without difference of location and micro climate factors.*

**Keywords :** *Covariance analysis, response variable, concomitant variable, factor variable, level.*

### **PENDAHULUAN**

Fungsi bangunan gedung adalah sebagai tempat berlindung penghuninya terhadap gangguan dari alam, seperti gangguan binatang, cuaca, dsb. Contoh bentuk-bentuk gangguan dari cuaca adalah

panas terik matahari, silau, hujan, kelembaban, kebisingan dan angin. Pada akhir-akhir ini, kondisi cuaca sulit untuk diperkirakan, hal tersebut disebabkan oleh adanya perubahan iklim, yang berakibat pada gangguan siklus ekologi. Tingginya

curah hujan serta semakin pendeknya musim hujan merupakan salah satu bentuk dari perubahan iklim tersebut, telah merubah perilaku manusia dalam hal bercocok tanam.

Bangunan dirancang salah satunya berfungsi untuk melindungi manusia dari cuaca. Menurut Rapoport [2005], bentuk bangunan merupakan respon terhadap lingkungan (iklim), karena didalamnya antara manusia dengan lingkungan terjadi interaksi. Bentuk-bentuk bangunan rumah khususnya menurut Rapoport adalah sebagai hasil dari penyesuaian terhadap alam. Manusia senantiasa berusaha untuk berlindung dari berbagai gangguan alam, dan *shelter* merupakan salah satu bentuk perlindungan manusia.

Sejalan dengan waktu, *shelter* mengalami pengembangan, yang semakin hari semakin kompleks, sejalan dengan berkembangnya teknologi bangunan, seperti teknologi bahan bangunan dan teknologi konstruksi, serta teknologi kelengkapan bangunan. Seperti halnya ketika Ottis, untuk pertama kalinya menemukan lift (*elevator*) maka berkembang juga bentuk bangunan tersebut, sehingga bermunculan pembangunan bangunan-bangunan pencakar langit.

Dalam pendapatnya Rapoport [2005] menyampaikan bahwa tata nilai sebuah hunian telah mengalami pergeseran, seiring dengan perkembangan teknologi. Sistem setting sebuah hunian menjadi lebih *compact* dibandingkan sebelumnya. Perkembangan teknologi telah mendorong pada perubahan arsitektur pada umumnya. Bila dikaitkan dengan perubahan iklim, saat ini, maka arsitektur bangunan juga turut akan mengalami perubahan sesuai dengan perubahan iklim tersebut. Barangkali kasus perubahan iklim jauh lebih abstrak untuk dijawab, namun upaya untuk mengungkap sejauhmana pengaruh arsitektur terhadap iklim, adalah pertanyaan yang dapat dijawab oleh *research*.

Untuk mengetahui apakah perubahan iklim kelak juga akan mempengaruhi bentuk arsitektur pada umumnya ? sebelum menjawab pertanyaan tersebut, perlu diketahui terlebih dahulu, sejauhmana arsitektur memiliki fungsi kinerja adaptasi terhadap lingkungan ? untuk meningkatkan kualitas lingkungan di dalam bangunan menjadi lebih baik. Bila dikaitkan pada tujuan utama dari bangunan bagi manusia, adalah untuk melindungi dari gangguan cuaca, seperti angin, suhu, cahaya, dan kelembaban. Tentunya berbagai bentuk bangunan telah disesuaikan dengan kondisi iklim setempat.

Bentuk pada arsitektur vernakular terlahir dari upaya manusia untuk menyesuaikan terhadap

kondisi lingkungan setempat. Sehingga berbagai bentuk bangunan yang berbeda-beda sebagai akibat untuk menyesuaikan dengan konteks tempat. Bangunan pada daerah pegunungan Papua maupun pegunungan di Nusa Tenggara Timur, memiliki bentuk silinder dengan atap *dome* berfungsi untuk menyimpan panas dari perapian, berbeda dengan bentuk perumahan bagi masyarakat yang tinggal di pantai. Gambaran tersebut menunjukkan bahwa iklim lingkungan mempengaruhi bentuk arsitektur.

Bentuk bangunan terwujud sebagai upaya memenuhi kebutuhan psikologis penghuninya terhadap rasa nyaman. Bangunan dalam hal ini berfungsi sebagai *buffer* yang melindungi manusia di dalam bangunan terhadap kondisi udara di luar. Sehingga setiap bentuk bangunan akan memiliki kemampuan kinerja yang berbeda-beda terhadap kemampuan untuk menahan gangguan lingkungan.

Secara empiris, telah diketahui bahwa berbagai bentuk tersebut memiliki kemampuan adaptasi yang berbeda-beda, namun secara objektif belum banyak diungkap. Untuk itu model pertanyaan penelitian yang perlu diungkap seperti, "*apakah perbedaan bentuk bangunan memiliki pengaruh adaptif terhadap lingkungan ?*". Data yang digunakan bukan dari percobaan laboratorium yang dapat di kontrol, akan tetapi data yang diambil dari hasil pengukuran di lapangan (*sigi*). Data *sigi* menggambarkan keadaan alamiah, mengandung pengaruh banyak peubah yang bekerjasama secara rumit (Sembiring : 2003). Dalam proses penelitian demikian, terkendala oleh penyetaraan data antar sampel yang berbeda, dimana ketika melakukan perbandingan antara bangunan seharusnya pada konteks tempat yang berbeda harus memiliki variabel iklim yang sama. Kenyataanya hal tersebut, tidak mudah untuk dikerjakan, karena ketika pengukuran dilakukan sulit untuk dilakukan pengukuran serentak antara beberapa sampel. Metode Analisis Kovariansi, umum digunakan dalam kasus seperti ini, dimana ditemukan adanya variabel iringan yang sulit dikontrol.

Dalam berbagai penelitian yang menggunakan metode Analisa Kovariansi, menunjukkan hasil yang akurat dalam memetakan pengaruh variabel faktor, dengan mengeliminasi variabel iringan (konkomitan), sehingga, pengukuran pengaruh pada variabel respon murni hanya dipengaruhi oleh variabel faktor. Untuk itu, dalam aplikasi penelitian objek arsitektur, perlu disusun penjelasan Analisa Kovariansi mengacu pada kaidah-kaidah dalam penelitian desain arsitektur.

Analisa Kovariansi dalam arsitektur digunakan untuk menguji adanya pengaruh variabel faktor,

yang merupakan dari variabel-variabel desain, terhadap variabel respon (*indoor air quality*). Variabel respon tersebut dipengaruhi langsung oleh variabel iringan (*outdoor air quality*). Penelitian demikian bila tidak memperhatikan adanya perbedaan iklim mikro dan tempat, maka hasil dari penelitian tersebut tidak dapat dipertanggungjawabkan.

Selama ini, metode yang digunakan dalam pengukur kinerja bangunan umumnya dilakukan melalui simulasi modeling komputer dengan bantuan software. Kendala yang sering ditemukan adalah hasil simulasi yang tidak sesuai dengan kenyataan, hal tersebut umumnya disebabkan oleh basis *software* tersebut disusun bukan untuk iklim tropis seperti Indonesia, sehingga diperlukan *effort* lebih lanjut untuk menyesuaikan beberapa variabel, terutama pada sisi nilai  $\mu$  dari bahan bangunan yang ada dipasaran Indonesia, hampir tidak sesuai dengan nilai  $\mu$  dalam *software*.

Dalam penelitian pengaruh arsitektur terhadap kualitas udara di dalam bangunan, tidak dapat dilakukan analisis *peer to peer* antara aspek arsitektur dengan data kualitas udara di dalam, karena kualitas udara di dalam sangat dipengaruhi oleh kualitas udara di luar, dan ketika pengambilan data, kualitas udara tersebut tidak dapat kita kontrol. Pengukuran serentak antara kualitas udara di dalam dan di luar bangunan, diperlukan untuk meniadakan pengaruh kualitas udara di luar bangunan terhadap kualitas udara di dalam bangunan, sehingga penelitian akan murni pengukur pengaruh arsitektur terhadap kualitas udara di dalam bangunan.

Kondisi ideal adalah pengukuran kualitas udara dilakukan pada beberapa sampel secara serentak, untuk itu bila sampelnya dua maka perlu ada dua alat ukur, bila sampel lebih dari dua maka akan diperlukan peralatan yang lebih banyak. Pengukuran dilakukan dengan kondisi kualitas udara di luar bangunan adalah sama, hal tersebut, sangat sulit dilakukan mengingat kualitas udara di

luar bangunan (iklim mikro) memiliki sifat berbeda pada setiap tempat yang berbeda, terutama bila lokasi sampel berada pada lokasi berbeda.

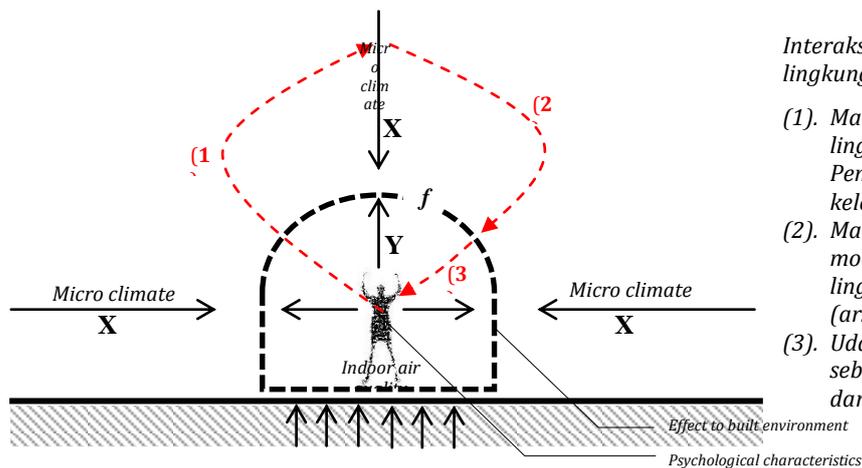
Tujuan dari tulisan ini adalah untuk menjelaskan metode Analisis Kovariansi, di dalam penelitian pengaruh desain terhadap kenyamanan di dalam bangunan. Besarnya pengaruh sebagai ukuran kinerja bangunan terhadap gangguan iklim dari udara di luar bangunan. Variabel udara luar sebagai variabel iringan. Tersedianya metode penelitian yang dapat digunakan dalam menguji apakah variabel faktor (desain) berpengaruh terhadap *indoor air quality*, penelitian tersebut dinyatakan sebagai pengukuran kinerja bangunan terhadap kemampuan adaptasi lingkungan (*outdoor air quality*).

## METODE

### Landasan Teori dalam Membangun Metode Pengukuran Kinerja Bangunan

Antara manusia dengan lingkungan terjadi interaksi yang dinamis, pendapat Rapoport (2005) tentang mekanisme tersebut dituangkan dalam konsep; "*The mechanisms linking people and environment*", Rapoport telah mengidentifikasi mekanisme keterkaitan antara manusia dengan lingkungan terdapat sepuluh variabel, yakni; Psikologi, Anatomi, Persepsi, Kognitif, Makna, *Affect*, Evaluasi, Tindakan dan perilaku, pendukung, dan beberapa dari komponen budaya.

Selanjutnya Rapoport, berpendapat bahwa "manusia melakukan adaptasi untuk mencapai tingkat kenyamanan terhadap temperatur, kelembaban, tingkat pencahayaan, silau, kebisingan, dan lain sebagainya". Dalam upaya mencapai tingkat kenyamanan terhadap suhu, pencahayaan, audial, maka manusia selain melakukan adaptasi juga melakukan modifikasi terhadap lingkungannya, seperti melakukan rekayasa udara dengan menggunakan *air conditioning* atau *heater*.



Interaksi manusia, bangunan, dan lingkungan:

- (1). Manusia merespon kondisi lingkungan terhadap dirinya. Pengaruh suhu, angin, bising, kelembaban, cahaya.
- (2). Manusia melakukan modifikasi terhadap lingkungan dengan rekayasa (arsitektur, lansekap, dsb)
- (3). Udara nyaman dihasilkan sebagai efek yang diharapkan dari bangunan

Gambar 1 Mekanisme Interaksi Manusia dan Lingkungan

Adaptasi manusia terhadap kondisi lingkungan adalah aspek penyesuaian diri yang tumbuh dari dalam diri manusia itu sendiri, mekanismenya berjalan mengikuti metabolisme tubuh. Modifikasi merupakan upaya penyesuaian manusia terhadap lingkungannya dengan melakukan rekayasa lingkungan (*built environment*). Arsitektur merupakan proses desain yang ditujukan untuk melakukan rekayasa lingkungan, manusia yang tinggal di dalam bangunan akan senantiasa merasakan perlindungan dari gangguan luar, seperti cuaca, binatang, dsb. Proses adaptasi dan modifikasi merupakan hasil interaksi manusia dan lingkungannya, secara skematik dapat dilihat pada gambar 1.

Interaksi antara manusia dan lingkungan (alami dan binaan) memiliki tiga variabel utama, pertama adalah variabel  $X$ , yaitu kualitas udara di luar bangunan. Variabel  $X$  akan mempengaruhi langsung kualitas udara di dalam bangunan  $Y$ . Perubahan nilai variabel  $Y$  terhadap variabel  $X$  tergantung dari kekuatan pengaruh dari variabel faktor ( $\tau$ ). Variabel  $f$  merupakan variabel faktor atau sering dinyatakan juga sebagai **perlakuan**, dalam konteks arsitektur variabel  $f$  dapat dinyatakan sebagai variabel desain.

Antara variabel  $X$  dan variabel  $Y$  terjadi interaksi, dalam statistika hal tersebut dinyatakan variabel-variabel bersifat dependensi. Sifat dependensi terjadi juga antara variabel  $Y$  dan variabel  $f$ , sedangkan antara variabel  $X$  dan variabel  $f$  bersifat independensi (tidak saling ketergantungan). Variabel  $f$  atau variabel dari faktor-faktor desain yang diuji dapat lebih dari satu variabel. Beberapa contoh variabel desain yang dapat diuji pengaruhnya terhadap kualitas udara di dalam bangunan adalah orientasi, bentuk, jenis bahan bangunan, dan lain sebagainya.

Variabel  $f$  merupakan hasil dari upaya manusia untuk melakukan rekayasa lingkungan, melalui desain bangunan dan berbagai peralatan yang dapat digunakan manusia untuk mendapatkan kualitas udara di dalam bangunan (*indoor air quality*) yang lebih nyaman dibandingkan dengan udara luar. Mengacu pada salah satu variabel desain bentuk, menurut Rapoport (1969), teori bentuk tempat tinggal dilandas oleh lima faktor pengaruh, yaitu; *Climate and need for Shelter, Material Construction and Technology, Site, Defense, Economics dan Religion*. Dua kata yang digaris bawahi merupakan merupakan variabel yang sulit dikontrol ketika pengukuran dilakukan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Kovariansi

Untuk menjelaskan kerja dari Analisis Kovariansi digunakan asumsi. Asumsi terdapat tiga bangunan dengan fungsi yang sama akan dibandingkan kinerja dari ketiga bangunan tersebut terhadap kemampuan beradaptasi terhadap suhu udara ( $X$ ). Tiga bangunan tersebut dinyatakan dengan bangunan A, bangunan B, dan bangunan C. Masing-masing bangunan memiliki bentuk, orientasi, dan spesifikasi bahan yang berbeda-beda, variabel-variabel tersebut yang memungkinkan kinerja ketiga bangunan terhadap lingkungan akan berbeda. Variabel-variabel tersebut dinyatakan sebagai variabel faktor yang juga merupakan variabel desain.

Bila  $Y$  adalah kualitas udara di dalam bangunan dan  $X$  adalah kualitas udara di luar bangunan, maka  $Y$  dinyatakan sebagai variabel respon dan  $X$  variabel independen yang mempengaruhi variabel  $Y$ . Variabel  $Y$  merupakan variabel berubah-ubah mengikuti perubahan variabel  $X$ , dan variabel  $X$  tidak memungkinkan untuk di kontrol. Sebagaimana diketahui cuaca tidak mungkin dapat

dikontrol oleh peneliti, kondisi cuaca ketika melakukan pengukuran mungkin dalam kondisi mendung, cerah, hujan, angin sedang, angin kencang, dan sebagainya. Kondisi cuaca tersebut selalu berubah-ubah ketika penelitian dilakukan. Sehingga variabel **X** tersebut dinyatakan sebagai variabel iringan atau variabel konkomitan (Sujana-1991). Dengan demikian variabel **Y** dinyatakan juga sebagai variabel respon.

Data dari variabel **X** dan variabel **Y** bersumber dari hasil pengukuran udara langsung (sigi), di luar dan di dalam bangunan. Kualitas udara yang dapat diukur meliputi; suhu udara dalam satuan derajat Celsius, kecepatan angin dalam satuan meter per

detik, kualitas cahaya dalam satuan *lux* dan kelembaban udara dalam satuan persen.

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi ketika akan menggunakan Analisa Kovariansi, meliputi; variabel respon **Y** harus mempunyai model aditif, kekeliruan berdistribusi normal dan identik, memiliki variansi homogen di dalam kelompok. Selanjutnya dalam analisa kovariansi juga harus dipenuhi bahwa antara variabel respon **Y** beregresi terhadap variabel iringan **X**, koefisien arah regresi tidak sama dengan nol. Variabel iringan **X** tidak dipengaruhi oleh perlakuan yang digunakan dalam kelompok (variabel faktor).

**Tabel 1** Daftar Observasi Pengukuran Berdasarkan Bangunan

Bangunan						Jumlah	
A		B		C			
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
X <sub>a1</sub>	Y <sub>a1</sub>	X <sub>b1</sub>	Y <sub>b1</sub>	X <sub>c1</sub>	Y <sub>c1</sub>		
X <sub>a2</sub>	Y <sub>a2</sub>	X <sub>b2</sub>	Y <sub>b2</sub>	X <sub>c2</sub>	Y <sub>c2</sub>		
X <sub>an</sub>	Y <sub>an</sub>	X <sub>bn</sub>	Y <sub>bn</sub>	X <sub>cn</sub>	Y <sub>cn</sub>		
Jumlah	ΣX <sub>a</sub>	ΣX <sub>b</sub>	ΣY <sub>b</sub>	ΣX <sub>c</sub>	ΣY <sub>c</sub>	ΣX	ΣY

Sumber : Sudjana (1991)

Kinerja bangunan dinyatakan sebagai variabel faktor yang akan diukur. Ketika akan dilakukan analisis pengaruh variabel faktor tersebut tanpa memasukkan variabel iringan ke dalam analisis maka hasil dari pengukuran akan bias, karena pengaruh variabel iringan tersebut sangat kuat. Untuk melakukan pengukuran kinerja bangunan secara murni, menurut Sujana (1991) maka perlu memurnikan terlebih dahulu variabel **Y** dari variabel **X**, hal tersebut dilakukan dengan menghilangkan pengaruh **X**, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk menilai kinerja bangunan.

Pada kasus di atas, antara variabel **X** dan variabel **Y** terjadi korelasi yang kuat, sehingga perlu dilakukan analisa regresi linier, dimana variabel respon **Y** berubah-ubah sesuai dengan adanya perubahan nilai **X**, variabel **X** disini berfungsi sebagai variabel iringan, untuk itu persamaan regresinya berbentuk persamaan (1), sebagai berikut;

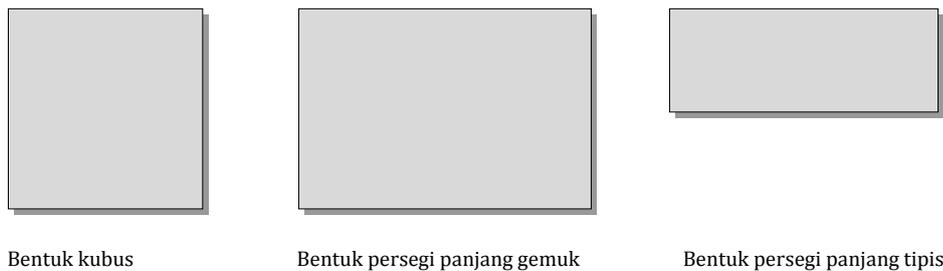
$$Y = \mu + \beta(X_{ij} + \bar{X}) + \epsilon_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

Penelitian dengan model eksperimen acak sempurna, dimana variabel dependen dipengaruhi oleh variabel faktor. Variabel faktor didefinisikan sebagai perlakuan dari sekumpulan kondisi-kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup penelitian

arsitektur. Perlakuan dapat berbentuk tunggal atau kombinasi.

Dalam melakukan penelitian efek desain arsitektur, model perlakuan desain dapat berupa; (1) arah orientasi, (2) tipologi bentuk bangunan, (3) spesifikasi bangunan, menyangkut bahan bangunan yang digunakan, dan lain sebagainya khususnya yang terkait dengan aspek desain. Setiap variabel faktor tersebut dapat terdiri dari beberapa taraf. Sebagai contoh variabel faktor orientasi, dapat kita bagi menjadi empat taraf, yang meliputi; arah orientasi (1) utara, (2) selatan, (3) barat, dan (4) timur, juga sangat memungkinkan kita bagi menjadi delapan taraf, misalkan; utara, selatan, barat, timur, barat daya, barat laut, timur laut, dan tenggara, sejauh sampelnya ada. Sifat data dari variabel faktor adalah katagorikal.

Contoh konkret penerapan metode ini pada penelitian desain arsitektur, adalah penelitian terkait variabel faktor bentuk. Perlakuan bentuk dapat dibagi dalam beberapa kemungkinan disesuaikan dengan teori bentuk yang diacu. Pembagian taraf tersebut didasarkan pada rasio "tinggi, lebar, dan panjang" bangunan. Bila taraf ketinggian bangunan sama (identik), maka taraf dapat dibagi menjadi tiga, yakni berdasarkan rasio lebar dan panjang, variabel faktor bentuk memiliki tiga taraf, seperti pada gambar di bawah ini;



Gambar 1 Pembagian Taraf pada Variabel Faktor Bentuk

Variabel faktor bentuk terdiri dari tiga taraf (tergantung dari teori bentuk yang diacu), yang dapat dinyatakan sebagai (1) bentuk kubus, (2) bentuk panjang gemuk, dan (3) bentuk panjang tipis. Pada kasus lain variabel faktor tersebut dapat ditambahkan seperti variabel faktor orientasi terdiri dari empat taraf, yakni (1) utara, (2) selatan, (3) barat, dan (4) timur. Dari uraian contoh di atas, terdapat dua variabel faktor yang masing-masing terdiri dari tiga dan empat taraf. Desain eksperimen acak sempurna dengan memperhatikan salah satu faktor yang akan diuji dengan sejumlah tarafnya, model persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut;

$$Y = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \dots\dots\dots (2)$$

Pada kasus ini, dikarenakan nilai dari variabel Y sangat tergantung dari variabel X, maka untuk mengukur pengaruh variabel faktor diperlukan untuk mengeluarkan pengaruh variabel X terlebih dahulu, untuk itu mengacu pada dasar analisis dari kovariansi yang merupakan penggabungan antara analisa regresi antara variabel X dengan variabel Y dan analisa variansi antara variabel faktor dengan variabel Y, maka dapat disusun formula (3), sebagai berikut :

$$Y = \mu + \beta(X_{ij} + \bar{X}) + \tau_j + \varepsilon_{ij} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan demikian nilai x adalah  $X_{ij} + \bar{X}$  dan y adalah  $Y_{ij} + \bar{Y}$  jika  $\beta$  sama dengan arah regresi berdasarkan rata-rata sampel, maka  $y = \beta x + \varepsilon$ , jika menggunakan metode kuadrat terkecil, maka;

$$y = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \dots\dots\dots (4)$$

Jika jumlah kuadrat (JK) kekeliruan ditaksir oleh  $\varepsilon = y - \beta x$ , maka akan diperoleh formula (5), pada formula (4) yang merupakan pengurangan pengurangan dalam jumlah kuadrat (JK) untuk variabel y karena regresinya atas variabel x, jadi nilai JK (regresi linier) adalah  $\frac{(\sum xy)^2}{\sum y^2}$  sebagai berikut :

$$\sum \varepsilon^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum xy)^2}{\sum x^2} \dots\dots\dots (5)$$

Bila menggunakan nilai x dan y awal, yakni nilai X dan Y, maka formula yang digunakan adalah :

$$\sum x^2 = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}$$

$$\sum y^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}$$

$$\sum xy = \sum XY - \frac{(\sum X) \cdot (\sum Y)}{N} \dots\dots\dots (6a, 6b, \text{ dan } 6c)$$

N adalah banyaknya pengamatan dalam kelompok, dimana nilai N adalah  $\sum n_i$ ,  $n_i$  adalah jumlah pengukuran berdasarkan variabel X atau Y, serta  $n_i$  adalah banyaknya observasi dalam tiap kelompok perlakuan. Setelah nilai Y dilakukan penyesuaian, maka terhadap y dilakukan analisa varian (Anava).

Pada kasus bangunan A, B, dan C sesuai dengan perolehan data sebanyak n observasi, dengan susun data sesuai pada tabel 1. maka tahap pertama adalah memurnikan terlebih dahulu variabel Y dari variabel konkomitan X, dengan menghitung nilai jumlah kuadrat (JK), sesuai formula (6) :

Jumlah Kuadrat (JK) :

$$\sum x^2 = (X_{a1})^2 + (X_{a2})^2 + (X_{an})^2 + \dots + (X_{cn})^2 - \frac{(\sum X)^2}{N} \dots\dots\dots (7)$$

$$\sum y^2 = (Y_{a1})^2 + (Y_{a2})^2 + (Y_{an})^2 + \dots + (Y_{cn})^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N} \dots\dots\dots (8)$$

$$\sum xy = (X_{a1}) \cdot (Y_{a1}) + (X_{a2}) \cdot (Y_{a2}) + \dots + (X_{cn}) \cdot (Y_{cn}) - \frac{(\sum x) \cdot (\sum Y)}{N} \dots\dots\dots (9)$$

Bangunan (Bgn.) :

$$\sum x^2 = \frac{(\sum X_a)^2 + (\sum X_b)^2 + (\sum X_c)^2}{n_1} - \frac{(\sum X)^2}{n} \dots\dots\dots (10)$$

$$\sum y^2 = \frac{(\sum Y_a)^2 + (\sum Y_b)^2 + (\sum Y_c)^2}{n_1} - \frac{(\sum Y)^2}{n} \dots\dots\dots (11)$$

$$\sum xy = \frac{(\sum X_a) \cdot (\sum Y_a) + (\sum X_b) \cdot (\sum Y_b) + (\sum X_c) \cdot (\sum Y_c)}{n_1} - \frac{(\sum X) \cdot (\sum Y)}{n} \dots\dots\dots (12)$$

Kekeliruan ( $\varepsilon$ ) :

$$\varepsilon_{x^2} = \sum X^2 JK - \sum X^2 Bgn. \dots\dots\dots (13)$$

$$\varepsilon_{y^2} = \sum Y^2 JK - \sum Y^2 Bgn. \dots\dots\dots (14)$$

$$\varepsilon_{xy} = \sum XY JK - \sum XY Bgn. \dots\dots\dots (15)$$

Penyesuaian (koreksi) nilai Y karena adanya regresi Y terhadap X, terhadap jumlah kuadrat-kuadrat variabel Y dihitung berdasarkan hasil tersebut, yakni :

Jumlah (1) :

$$\sum y^2 \text{ (dikoreksi)} = \sum Y^2 JK - \frac{(\sum XY JK)^2}{\sum X^2 JK} \dots\dots\dots (16)$$

Dalam Bangunan (2) :

$$\sum y^2 \text{ (dikoreksi)} = \varepsilon_{Y^2} - \frac{(\sum \varepsilon_{XY})^2}{\varepsilon_{X^2}} \dots\dots\dots (17)$$

Antara Bangunan :

$$\sum y^2 \text{ (dikoreksi)} = \sum y^2 \text{ Jumlah (1)} - \sum y^2 \text{ dalam bangunan (2)} \dots\dots (18)$$

Seluruh hasil perhitungan di atas disusun dalam tabel Analisis Kovariansi, sebagai berikut :

**Tabel 2** Daftar Observasi Pengukuran Berdasarkan Bangunan

Sumber Variansi	dk	JK			Dikoreksi		
		$\sum y^2$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$	dk	RJK
Antara bangunan	$S - 1$	(11)	(9)	(10)	-	-	-
Dalam bangunan		(14)	(15)	(13)	(17)	dk <sub>1</sub>	(17)/dk <sub>1</sub>
Jumlah		(11) + (14)	(9) + (15)	(10) + (13)	(16)	dk <sub>2</sub>	-
Antar Bangunan	-	-	-	-	(18)	dk <sub>3</sub>	(18)/dk <sub>3</sub>

Berdasarkan Tabel 2. Analisis Kovariansi di atas, untuk menguji efek bangunan terhadap variabel respon **Y** sesudah dimurnikan dari pengaruh variabel iringan **Y**, diperoleh nilai F, dijelaskan oleh persamaan 19.

$$F = \frac{\text{hasil (18)/dk}_3}{\text{hasil (17)/dk}_1} \dots\dots\dots (19)$$

Nilai F menunjukkan adanya pengaruh variabel faktor terhadap variabel **Y** setelah dihilangkan pengaruh dari variabel iringan **X**. Untuk melihat adanya pengaruh dan tidak adanya pengaruh, dilakukan dengan membandingkan hasil F dengan tabel F.

**Analisa Regresi**

Berdasarkan susunan data hasil observasi pada tabel 1. Terdapat tiga macam regresi, yaitu:

1. Regresi untuk keseluruhan **Y** atas keseluruhan **X**
2. Regresi dalam perlakuan, yakni regresi dalam satu bangunan
3. Regresi semua rata-rata untuk **Y** atas semua rata-rata untuk **X**

Dalam Analisis Kovariansi, harus dilakukan koreksi nilai-nilai variabel **Y** yang terdapat dalam perlakuan pada kasus tabel 1. adalah bentuk bangunan, yang diwakili oleh bentuk A, bentuk B, dan bentuk C. dengan demikian koefisien arah regresi dalam perlakuan dihitung sebagai berikut :

$$\beta = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{\varepsilon_{XY}}{\varepsilon_{X^2}} \dots\dots\dots (20)$$

Dari hasil perhitungan koefisien regresi ini, maka rata-rata variabel **Y**, setelah dikoreksi oleh variabel **X**, disesuaikan, menjadi :

$$\bar{Y}_{0j} \text{ (dikoreksi)} = \bar{Y}_{0j} - \beta(\bar{X}_{0j} - \bar{X}_{00}) \dots\dots\dots (21)$$

Dengan :

- $\bar{Y}_{0j}$  : rata-rata variabel Y dalam perlakuan
- $\bar{X}_{0j}$  : rata-rata variabel X dalam perlakuan
- $\bar{X}_{00}$  : rata-rata untuk semua variabel X

Mengacu pada persamaan (20), maka pada kasus data observasi pada tabel 1 dengan hasil Analisis

Kovariansi, dapat dihitung regresi dalam perlakuan bentuk, sebagai berikut;

$$\beta = \frac{\text{hasil (15)}}{\text{hasil (13)}} \dots\dots\dots (22)$$

Melalui persamaan (21), maka rata-rata **Y** dikoreksi adalah;

Bangunan A

$$\bar{Y}_{01} = \frac{\sum Y_a}{n_1} - \beta \left( \frac{\sum X_a}{n_1} - \frac{\sum X}{n} \right) \dots\dots\dots (23)$$

Bangunan B

$$\bar{Y}_{01} = \frac{\sum Y_b}{n_1} - \beta \left( \frac{\sum X_b}{n_1} - \frac{\sum X}{n} \right) \dots\dots\dots (24)$$

Bangunan C

$$\bar{Y}_{01} = \frac{\sum Y_c}{n_1} - \beta \left( \frac{\sum X_c}{n_1} - \frac{\sum X}{n} \right) \dots\dots\dots (25)$$

Untuk menguji apakah koefisien arah  $\beta$  sama dengan nol, digunakan uji statistik F, dengan menggunakan formula (26), di bawah ini ;

$$F = \frac{(\varepsilon_{XY})^2 / \varepsilon_{X^2}}{\sum y^2 \text{ (dikoreksi)} / (N - k - 1)} \dots\dots\dots (26)$$

Dengan dk pembilang sama dengan 1 dan dk penyebut sama dengan (N - k - 1) sedangkan k sama dengan banyaknya kelompok dan N banyaknya total observasi, pengujian ini digunakan untuk mengetahui apakah terhadap data yang diperoleh perlu dilakukan Analisis Kovariansi atau tidak. Pada kasus tabel 1, maka hasil perhitungan F, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$F = \frac{(15)^2 / (13)}{(17) / (N - k - 1)} \dots\dots\dots (27)$$

Formula (27) merupakan hasil yang memasukkan nilai-nilai dari hasil perhitungan pada formula (15), (13), dan (17). Hasilnya akan menunjukkan nilai signifikan atau tidak signifikan, dibandingkan dengan tabel F. Bila nilainya signifikan maka dapat dilakukan pengujian hipotesis bahwa ketiga koefisien regresi bangunan sama besar, untuk itu terlebih dahulu dihitung arah regresi setiap bangunan, dengan menggunakan formula (20) dan formula (21) dengan membatasi pada tiap-tiap kelompok bangunan. Dilanjutkan dengan

penyesuaian terhadap jumlah kuadrat (JK) berdasarkan kelompok oleh regresinya dengan menggunakan formula (5). maka akan didapat hasil sebagai berikut :

Bangunan A :

$$\beta_A = \frac{(X_{a1})(Y_{a1})+\dots+(X_{an})(Y_{an})-(\sum X_a)(\sum Y_a)/n_1}{(X_{a1})^2+\dots+(X_{an})^2-(\sum X_a)^2/n_1} \dots\dots\dots (28)$$

$$\sum y^2 \text{ (dikoreksi)} = (Y_{a1})^2 + \dots + (Y_{an})^2 - \frac{(\sum Y_a)^2}{n_1} \dots\dots\dots (29)$$

$$\sum y^2 = (Y_{a1})^2 + \dots + (Y_{an})^2 \dots\dots\dots (29a)$$

Bangunan B :

$$\beta_B = \frac{(X_{b1})(Y_{b1})+\dots+(X_{bn})(Y_{bn})-(\sum X_b)(\sum Y_b)/n_1}{(X_{b1})^2+\dots+(X_{bn})^2-(\sum X_b)^2/n_1} \dots\dots\dots (30)$$

$$\sum y^2 \text{ (dikoreksi)} = (Y_{b1})^2 + \dots + (Y_{bn})^2 - \frac{(\sum Y_b)^2}{n_1} \dots\dots\dots (31)$$

$$\sum y^2 = (Y_{b1})^2 + \dots + (Y_{bn})^2 \dots\dots\dots (31a)$$

Bangunan C :

$$\beta_C = \frac{(X_{c1})(Y_{c1})+\dots+(X_{cn})(Y_{cn})-(\sum X_c)(\sum Y_c)/n_1}{(X_{c1})^2+\dots+(X_{cn})^2-(\sum X_c)^2/n_1} \dots\dots\dots (32)$$

$$\sum y^2 \text{ (dikoreksi)} = (Y_{c1})^2 + \dots + (Y_{cn})^2 - \frac{(\sum Y_c)^2}{n_1} \dots\dots\dots (33)$$

$$\sum y^2 = (Y_{c1})^2 + \dots + (Y_{cn})^2 \dots\dots\dots (33a)$$

Selanjutnya seluruh perhitungan di atas disusun ke dalam daftar Jumlah Kuadrat (JK) dikoreksi pada tabel 3. sebagai berikut:

**Tabel 3** Jumlah Kuadrat (JK) Dikoreksi dalam Kelompok Bangunan

Bangunan	Dk	(JK) $\sum y^2$	$\beta$	(JK <sub>R</sub> ) $\sum y^2$ (dikoreksi)	df
Bgn. A	$n_1 - 1$	JK <sub>a</sub> (29a)	(28)	(29)	k - 1
Bgn. B	$n_1 - 1$	JK <sub>b</sub> (31a)	(30)	(31)	k - 1
Bgn. C	$n_1 - 1$	JK <sub>c</sub> (33a)	(32)	(33)	k - 1
Jumlah	$\sum n_1 - 1$	JK <sub>a</sub> + JK <sub>b</sub> + JK <sub>c</sub>	-	(29)+(31)+(33)	$\sum (k - 1)$

Selanjutnya untuk membandingkan kinerja bangunan A, B, dan C digunakan nilai F dan dibandingkan terhadap nilai F tabel. Mengacu pada tabel 2. dalam penggunaan statistik F, dengan formula;

$$F = \frac{[(17)-\{(29)+(31)+(33)\}):(k-1)}{\{(29)+(31)+(33)\}:(N-2k)} \dots\dots\dots (34)$$

Jika F hitung lebih besar maka hipotesis ditolak, jika nilai F hitung besar maka ketiga koefisien regresi bersifat homogen, dan bila F hitung kecil maka ketiga atau salah satu koefisien regresi tidak homogen. Untuk menguji apakah variabel X dipengaruhi atau tidak dipengaruhi oleh kelompok bangunan, dilakukan dengan menggunakan formula :

$$F = \frac{(10)/(k-1)}{(13)/(N-k)} \dots\dots\dots (35)$$

Tolak hipotesis jika harga F terlalu besar dan terima hipotesis jika nilai F kecil. Bentuk hipotesis H<sub>0</sub> : variabel X dipengaruhi oleh kelompok variabel f, dan H<sub>1</sub> : variabel X tidak dipengaruhi oleh variabel f. Bila nilai F besar, maka H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>1</sub> diterima, atau sebaliknya.

Langkah selanjutnya bila dari perhitungan nilai F menunjukkan hasil adanya perbedaan yang signifikan antara aspek arsitektur yang diteliti pada ketiga bangunan tersebut, maka dapat diketahui mana yang lebih baik dengan melakukan analisa perbandingan nilai rata-rata (*compare means*) dari setiap bangunan dengan menempatkan kualitas udara luar sebagai variabel kontrol.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

Metode yang disusun dalam penelitian ini dapat digunakan untuk mengukur kinerja bangunan terhadap gangguan iklim mikro. Bentuk-bentuk penelitian yang dapat menggunakan metode ini adalah pengukuran terkait pengaruh variabel desain bangunan terhadap iklim. Variabel desain bangunan yang dapat diukur diantaranya: tipologi bentuk, teknologi bahan bangunan, orientasi bangunan, lebar dan letak bukaan, dan lain sebagainya yang terkait dengan desain.

Kinerja desain diukur terhadap suhu, kelembaban, kecepatan angin, kebisingan dan intensitas cahaya. Pengukuran dilakukan pada kualitas udara di dalam bangunan dengan kualitas udara di luar bangunan. Dimana kualitas udara di dalam bangunan akan sangat dipengaruhi oleh kualitas udara di luar bangunan. Variabel tersebut adalah variabel dependen (kualitas udara di dalam) dan independen (kualitas udara di luar). Antara dua kualitas udara tersebut terjadi regresi linier. Kualitas udara di dalam dinyatakan sebagai variabel respon, sedangkan kualitas udara di luar dinyatakan sebagai variabel iringan (*concomitant*).

Dalam penelitian dengan menggunakan metode Analisa Kovariansi, yang dapat diukur dan diteliti adalah variabel desain, diantaranya orientasi, tipologi bentuk, teknologi bahan dan lain sebagainya. Metode ini dapat digunakan untuk

pertanyaan penelitian sebagai berikut “*Apakah variabel-variabel desain tersebut berpengaruh terhadap kualitas udara di dalam bangunan ? Apakah terdapat perbedaan pengaruh berbagai antara variabel desain terhadap kualitas udara di dalam bangunan?*”. Metode yang digunakan dalam model penelitian ini adalah model penelitian dengan Analisis Kovariansi, yang merupakan metode statistik yang belum banyak digunakan dalam penelitian kinerja bangunan terhadap termal.

#### **Saran**

Disarankan dalam melakukan penilaian kinerja bangunan untuk mempertimbangkan karakteristik lingkungan yang berbeda-beda pada setiap lokasi bangunan. Metode kovariansi adalah metode penilaian dengan mempertimbangkan keragaman lokasi, sehingga hasil pengukuran ada nilai riil dari kinerja bangunan tersebut tanpa dipengaruhi oleh karakteristik lokasi yang berbeda.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Sudjana dimana melalui buku-bukunya telah

memberikan inspirasi kepada penulis dalam mengungkap fenomena dalam penelitian bidang arsitektur.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Rapoport, A., 2005. *Culture, Architecture, and Design*, Locke Science Publishing Company, Inc. USA. (10 – 17).
- Rapoport, A., 1969. *House Form and Culture*, Foundations of Cultural Geography Series, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. (18 – 45).
- Sabaruddin, A., 2012. *Pengaruh Orientasi, Tipe, Posisi Unit Hunian terhadap Emisi CO<sub>2</sub> pada Bangunan Rumah Susun*, Manuskrip Disertasi, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Santoso, S., 2010. *Statistik Multivariat, Konsep dan Aplikasi dengan SPSS*, Penerbit PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Sembiring, R.K., 2003. *Analisa Regresi*, Edisi kedua, Penerbit Institut Teknologi Bandung. (30 – 78).
- Sujana, 1991. *Disain dan Analisis Eksperimen*, Penerbit Tarsito, Bandung. (263 – 273).