

## PENGEMBANGAN PERSAMAAN REGRESI KENYAMANAN TERMAL RUANG LUAR UNTUK SITUASI MALAM HARI DI DAERAH TROPIS LEMBAB

Sangkertadi, Reny Syafriny, Cytnthia E V Wuisang  
Universitas Sam Ratulangi, Jurusan Arsitektur  
Jl. Kampus UNSRAT, Bahu-Kleak, Manado 95115  
Email:sangkertadi@unsrat.ac.id

### Article Info

#### Article history:

Received November 18, 2021  
Revised January 28, 2022  
Accepted January 31, 2022

#### Keywords:

Thermal comfort  
Outdoor  
Tropical humid

### ABSTRACT

*Development of regression equations of outdoor thermal comfort for night situation in humid tropical regions. In tropical and humid cities, at night human activities also take place at outdoor space under the open sky, especially around 18.00 to 22.00. Air temperature during that time also tends to be warm, and the humidity has started to increase. The question is how much the thermal comfort level of people at outdoor space so that they feel enjoy and productive for their activities. Through this study, two regression equations was developed in order to predict the level of human thermal comfort at outdoor spaces at night in tropical area. A total of 80 adults consisting of 40 men and 40 women as subjects and respondents have filled out questionnaire about the perception of thermal comfort scales when obtaining various climate penetrations. The respondents wore tropical clothing types. The experiment was carried out at outdoor under open sky at coastal area in the city of Manado. The climate variables include air temperature, humidity, and wind speed. The regression equation consists of two, namely for the case of activities sitting with light work, and walking leisurely. The equation is in the form of  $Y=f(X_i)$ , where Y is the scale of perception of comfort, and  $X_i$  is the climate variable. The equation produces a predicted range of perception of thermal comfort in terms of numbers 2 (feeling hot), 1 (feeling a slightly hot), 0 (feeling comfortable), -1 (feeling a slightly cold), and -2 (feeling cold). The R value of the two regression equations are 0.7. One of the results of calculations by using the regression shows that at outdoor spaces, people who sit with light work still feel comfortable in a climatic environment with air temperature 32°C, humidity 65%, and being touched by a wind speed of 1 m/s.*

*This is an open access article under the CC BY-SA license.*



### PENDAHULUAN

Kehidupan atau kegiatan masyarakat di kawasan kota yang beriklim tropis lembab, di ruang luar dapat berlangsung siang dan malam hari. Pada saat malam hari, saat mana tidak ada panas matahari, maka orang leluasa melakukan kegiatan di luar ruangan, baik untuk bekerja maupun berekreasi. Faktor panas matahari yang menjadi penyebab utama tidak nyaman saat kegiatan di ruang luar, tidak terjadi di malam hari. Namun demikian, perlu juga dipastikan apakah di malam hari manusia juga merasa nyaman, meskipun tidak ada matahari. Bisa jadi karena suhu udara yang terlalu tinggi juga masih dapat menyebabkan rasa tidak nyaman. Demikian pula mungkin dapat terjadi tidak nyaman apabila suhu udara terlalu rendah, atau hembusan angin yang terlalu kencang, sehingga menimbulkan rasa dingin. Apabila manusia merasa tidak nyaman terhadap iklim sekitarnya, maka secara logika dapat menyebabkan penurunan produktifitas kerja. Pertanyaan tersebut perlu dijawab dengan melakukan suatu kajian tentang variabel-variabel yang mempengaruhi kenyamanan termal manusia yang berkegiatan di malam hari. Sejumlah penelitian tentang hubungan variabel kenyamanan termal di iklim tropis lembab saat siang hari sudah dilakukan oleh para peneliti. Suhu udara dapat dianggap sebagai variabel tunggal dalam persepsi kenyamanan termal untuk kondisi tertentu [1]. Angin dan suhu udara disebut sebagai pasangan variabel utama

dalam respon kenyamanan termal ruang luar<sup>[13]</sup>, juga ditambah dengan faktor kelembaban udara<sup>[11]</sup>. Namun di siang hari pengaruh panas matahari menimbulkan perubahan suhu radiasi yang berpasangan dengan kecepatan angin, ternyata juga menjadi faktor dominan persepsi kenyamanan termal ruang luar<sup>[5] [9] [12]</sup>. Sejumlah persamaan regresi tentang persepsi kenyamanan ruang luar di iklim tropis lembab telah dihasilkan namun terbatas pemakaian umumnya di siang hari<sup>[3] [8] [9]</sup>. Sedangkan di malam hari, penelitian tentang respon dan variabel kenyamanan termal ruang luar belum banyak dibahas, tercatat antara lain oleh Meili Naika dkk<sup>[7]</sup>, Souradeep Gupta dkk<sup>[10]</sup>. Faktor iklim mikro selain karena pengaruh meteorologi dari atmosfer, juga dapat dipengaruhi oleh sifat material lansekap yang dapat menyebabkan perubahan iklim mikro. Selanjutnya lansekap perkotaan juga berpengaruh pada dampak kenyamanan termal, di ruang luar, baik di siang maupun malam hari<sup>[14] [2] [4]</sup>. Maksud dari studi untuk memperkaya informasi tentang kajian kenyamanan termal ruang luar saat malam hari di daerah beriklim tropis lembab. Dilakukan kajian tentang hubungan antar variabel penentu persepsi kenyamanan saat malam hari. Kajian bertujuan menghasilkan persamaan regresi untuk memprediksi tingkat kenyamanan termal ruang luar di iklim tropis lembab yang berlaku untuk kondisi malam hari. Persamaan regresi pada umumnya memang terbatas hanya pada rentang tertentu sesuai variabel yang ditetapkan, Namun penggunaan persamaan regresi untuk memprediksi tingkat kenyamanan termal telah diuji validitasnya<sup>[6]</sup>, sehingga layak untuk terus dikembangkan untuk berbagai lingkup atau rentang variabel tertentu lainnya. Persamaan regresi yang dihasilkan dalam penelitian ini akan dapat dipergunakan untuk memprediksi apakah seseorang merasa nyaman dalam beraktifitas di ruang luar saat malam hari apabila mendapat penetrasi iklim tertentu, baik pada saat duduk sambil kerja ringan maupun sedang jalan santai. Manfaatnya adalah apabila ternyata hasil keluaran dari persamaan regresi ternyata seseorang di prediksi merasa tidak nyaman maka dapat dilakukan antisipasi dengan berbagai tindakan misalnya dengan mempersiapkan pakaian yang lebih rapat apabila diduga merasa akan kedinginan. Sebaliknya apabila diduga akan merasa kepanasan, maka di lingkungan kerja dapat dilengkapi dengan perangkat alat ventilasi mekanik seperti fan untuk memberikan hembusan angin segar yang dapat membantu evaporasi keringat.

---

## BAHAN DAN CARA PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif untuk merumuskan persamaan regresi yang tersusun atas variabel tertentu yang terukur. Variabelnya meliputi kelompok variabel iklim dan kelompok variabel manusia. Kelompok variabel iklim yang dipertimbangkan meliputi suhu udara, suhu globe (yang merepresentasikan suhu radiasi rata-rata malam hari), kecepatan angin, dan kelembaban udara. Sedangkan kelompok variabel manusia meliputi tinggi dan berat badan, serta tipe aktifitas dan pakaian. Data tinggi dan berat badan responden, diperlukan untuk mengetahui besarnya luas kulit (luas kulit manusia umumnya dikenal dengan luas *du Bois* atau *Adu= A du Bois*). Luas permukaan kulit tubuh tersebut dianggap penting untuk dipertimbangkan, karena ada penetrasi angin dengan suhu dan kelembaban tertentu yang menerpa kulit manusia pada luasan tertentu, sehingga terjadi pertukaran panas antara kulit dan lingkungan udara sekitarnya. Aktifitas responden atau subyek dibatasi hanya pada posisi duduk sambil bekerja ringan dan jalan santai. Para responden juga diminta berpakaian tipe tropis (pada angka koefisien pakaian sekitar 0.5 – 0.6 clo). Terdapat sebanyak 40 responden pria dewasa dan 40 responden wanita dewasa. Setiap responden diminta berada di ruang luar, pada posisi duduk, dan berjalan diatas *treadmill* datar, seolah terasa berjalan di jalan biasa, dengan pengaturan kecepatan gerak jalan yang ada pada alat *treadmill*. Pada posisi tersebut, setiap responden mendapat perlakuan iklim mikro yang berbeda di saat malam hari di luar ruang. Variabel iklim suhu udara, kelembaban dan suhu *globe* di biarkan berubah secara alamiah, namun khusus kecepatan angin ditambah dengan perlakuan dengan rekayasa agar mendapatkan variasi kecepatan angin yang lebih banyak. Percobaan ini menggunakan alat fan yang diukur kecepatannya dengan alat anemometer pada posisi titik ukur didekat tubuh. Selanjutnya terhadap masing masing subyek atau responden diberikan

efek kecepatan angin secara alamiah dan/atau ditambah dorongan angin dari peralatan fan, dengan tiga kelompok angin yang berbeda, yaitu kisaran 0.1 sd 1 m/s, 1 sd 2 m/s dan 2 sd 4.5 m/s. Sedangkan suhu udara dan suhu *globe* serta kelembaban udara di ukur di sekitar tubuh manusia. Peralatan pengukuran yang digunakan adalah *thermohygrometer* dan *globe thermometer*. Data berat dan tinggi badan responden juga diperlukan dalam rangka memperoleh angka Adu yang di duga akan berpengaruh pada respon kenyamanan termal. Angka berat dan tinggi badan responden ditanyakan kepada yang bersangkutan. Setiap responden mendapat perlakuan iklim yang berbeda selama 5 menit, dan langsung mengisi kuisioner persepsi kenyamanan berupa isian pilihan dalam 7 skala (3=sangat panas; 2=panas; 1=agak panas; 0=nyaman; -1=agak dingin; -2=dingin; -3=sangat dingin). Selanjutnya responden dipersilahkan istirahat selama 10 menit, dan kemudian dilakukan lagi penetrasi iklim yang berbeda pada yang bersangkutan sampai 3 kali.

Lokasi penelitian adalah di Kota Manado, tepatnya di Kelurahan Bahu yang terletak di dekat pantai, di tapak ruang terbuka pada tanggal 8 sd 10 September 2021 jam 18.00 sd 22.00. Rentang waktu jam 18.00 sd 22.00 tersebut sengaja diambil, dengan pertimbangan bahwa aktifitas manusia di ruang luar masih cukup banyak pada saat tersebut.

Total diperoleh sebanyak 240 respon masing masing untuk setiap posisi aktifitas duduk dan berjalan santai. Persamaan regresi untuk aktifitas duduk di tuliskan dalam formulasi umum  $Y_{m\_d}=f(X_i)$ , dimana  $Y_{m\_d}$  adalah variabel output untuk persepsi kenyamanan termal luar ruang saat malam posisi duduk, sedangkan  $X_i$  adalah variabel input yang terdiri atas suhu udara, suhu globe, kelembaban udara, kecepatan angin dan Adu. Sedangkan pada posisi berjalan santai, persamaan regresi di nyatakan dalam bentuk  $Y_{m\_j}=f(X_i)$ , dimana  $Y_{m\_j}$  adalah variabel output untuk persepsi kenyamanan termal luar ruang saat malam posisi berjalan.

---

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Selama proses pengukuran, suhu udara maksimum 33.45 °C dan minimum 27.7°C, rata rata 31.52 °C, simpangan maksimum-minimum sebesar 5.75°C, atau 18%. Ternyata suhu udara di malam hari pada pukul 18.00 sd 21.00 masih tergolong cukup hangat, mungkin masih dipengaruhi oleh keadaan panas di siang dan sore hari, dan mungkin juga karena udara yang dipengaruhi produktifitas pemukiman dan lalu lintas yang masih aktif pada jam-jam tersebut. Hasil yang hampir sama juga ditunjukkan oleh Yang <sup>[14]</sup> di *Singapore*, bahwa di ruang luar saat malam hari jam 18.00 suhu udara masih hangat pada angka sekitar 31 sd 33 °C, sedangkan jam 21.00 sudah menurun sekitar 29°C sd 31°C. Kelembaban udara maksimum sebesar 77.5% dan minimum 63.9% rata rata sebesar 72.45%, dengan simpangan maksimum 13.6%, atau 18% terhadap rata-rata. Biasanya semakin malam, udara juga semakin lembab. Suhu *globe* selama pengukuran tidak berubah secara signifikan, dengan angka maksimum 29 °C, minimum 25.6°C, rata-rata 26.69°C, dengan simpangan maksimum 3.4 °C. Dari data responden yang ada, juga menunjukkan adanya perbedaan maksimum luas kulit tubuh (*A du Bois*) diantara para responden sebesar 0.44 m<sup>2</sup>, atau maksimum sebesar 24% dari rata-rata, dimana maksimum 2.03 m<sup>2</sup>, minimum 1.6 m<sup>2</sup> dan rata rata 1.82 m<sup>2</sup>. Rentang persepsi nyaman yang dirasakan responden meliputi rasa panas, agak panas, nyaman, agak dingin, dan dingin. Masing masing persepsi diberi ukuran 2 untuk rasa panas, 1 untuk rasa agak panas, 0 untuk nyaman, -1 untuk rasa agak dingin dan -2 untuk persepsi dingin.

Analisis data hubungan antara angka respon dan iklim mikro, dilakukan dengan menggunakan MS Excel, yaitu analisis korelasi dan regresi. Pada kasus dimana subyek atau responden dalam keadaan duduk, berdasarkan hasil analisis korelasi diperoleh hasil dimana variabel suhu globe hanya berpengaruh sangat kecil yaitu hanya 0.05 terhadap respon persepsi, sehingga dalam persamaan regresi, maka variabel suhu globe di tiadakan. Demikian pula, luas kulit tubuh (*A du Bois*) ternyata dalam kasus ini tidak menunjukkan korelasi yang signifikan, hanya 0.09 terhadap respon persepsi kenyamanan termal. Dengan demikian maka variabel yang masih berkorelasi dengan kategori sedang dan baik, adalah 3 variabel, yakni

suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin. Kecepatan angin memiliki korelasi terbesar yaitu 0.6. Kecenderungan yang hampir sama juga ditunjukkan pada kasus dimana subyek atau responden melakukan kegiatan berjalan kaki (diatas *treadmill*). Dengan demikian maka, baik untuk kasus subyek beraktifitas duduk maupun berjalan kaki, variabel yang digunakan hanya suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin. Hasil persamaan regresi adalah sebagai berikut:

Posisi duduk :

$$Y_{m\_d} = -8.54 + 0.22t_a + 0.03RH - 0.56v \quad (R = 0.7)$$

Posisi berjalan santai :

$$Y_{m\_j} = -4.11 + 0.14t_a + 0.01RH - 0.65v \quad (R = 0.7)$$

Dimana  $t_a$  adalah suhu udara (dalam  $^{\circ}C$ ), RH adalah kelembaban udara (dalam %), dan v adalah kecepatan angin (dalam m/s). Persamaan tersebut dengan batasan penggunaan pada tipe tubuh manusia Indonesia berusia dewasa dan berpakaian tropis. Batasan rentang persepsi rasa nyaman meliputi rasa dingin, agak dingin, nyaman, agak panas dan panas (Tabel 1).

Dengan menggunakan persamaan regresi tersebut, dbuat simulasi untuk mengetahui pengaruh masing masing variabel iklim terhadap persepsi rasa kenyamanan. Pada kasus dimana suhu udara  $33.1^{\circ}C$ , kelembaban Relatif 63.9% yaitu kondisi iklim jam 18.00 (Tabel.3), dicoba untuk mensimulasi angka kecepatan angin yang memadai agar manusia merasa nyaman, atau berubah dari rasa agak panas menjadi nyaman. Di buat simulasi dengan angka kecepatan angin yang berbeda dari angka 0.5 sd 1.5 m/s, pada kasus manusia berjalan santai. Hasilnya menunjukkan bahwa pada kasus subyek berjalan, merasakan efek kecepatan angin yang dapat meningkatkan rasa kenyamanan, dari situasi agak panas menjadi nyaman. Sedangkan pada kasus subyek duduk bekerja ringan, yang bersangkutan diprediksi tetap merasa nyaman pada rentang iklim tersebut (Gambar.1). Penurunan persepsi kenyamanan termal terhadap variabel iklim ditunjukkan secara linear sebagaimana persamaan regresi yang juga linier.

Tabel.1. Interpretasi persepsi kenyamanan termal

Nilai Ym	Interpretasi Persepsi
1.5 atau lebih besar	Panas
0.5 sd 1.49	agak panas
-0.5 sd 0.49	nyaman
-1.49 sd -0.49	agak dingin
-1.5 atau lebih kecil	dingin

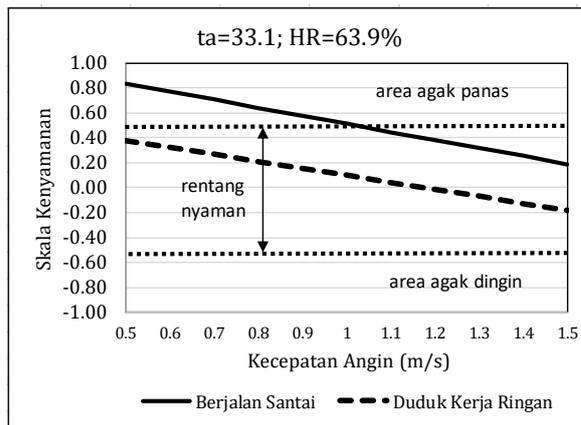
Tabel.2. Penggunaan persamaan regresi untuk kasus kegiatan duduk

Jam	Iklim Mikro			Duduk	
	$t_a$	RH	v	$Y_{m\_d}$	Persepsi
18	33.1	63.9	0.77	0.2	Nyaman
19	31.7	70.1	1.9	-0.5	Nyaman
20	29.4	72.8	2.2	-1.1	Agak dingin
21	28.1	76.2	2.6	-1.5	Dingin
22	27.7	77.5	2.7	-1.6	Dingin

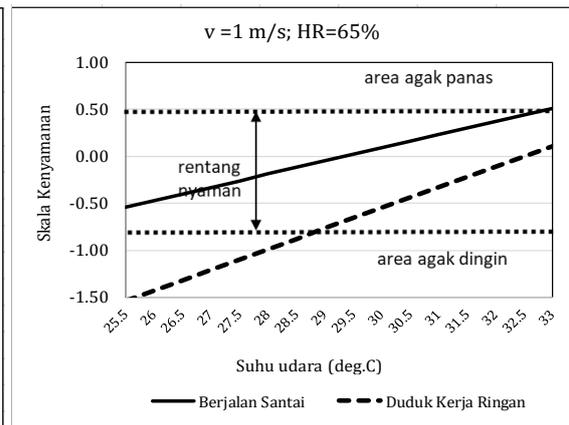
Tabel.3. Penggunaan persamaan regresi untuk kasus kegiatan berjalan santai

Jam	Iklim Mikro			Berjalan	
	ta	RH	v	Ym_j	Persepsi
18	33.1	63.9	0.77	0.7	Agak panas
19	31.7	70.1	1.9	-0.2	Nyaman
20	29.4	72.8	2.2	-0.7	Agak dingin
21	28.1	76.2	2.6	-1.1	Agak dingin
22	27.7	77.5	2.7	-1.2	Dingin

Pada kasus subyek berjalan kaki, rasa nyaman mulai ada pada saat angin mencapai 1 m/s. Disini nampak jelas bagaimana sensitifitas kecepatan angin setempat atau sesaat yang bisa mempengaruhi kenyamanan termal manusia yang beraktifitas di ruang luar beriklim tropis lembab. Simulasi selanjutnya dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu udara, dengan menerapkan kecepatan angin konstan 1 m/s dan kelembaban udara juga konstan 65%. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu udara akan menurunkan kualitas kenyamanan atau meningkatkan rasa tidak nyaman, yang dapat berarti lebih panas (Gambar. 2). Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kasus subyek duduk bekerja ringan, akan merasa agak dingin dengan suhu lebih kecil dari 29 °C, kecepatan angin 1 m/s dan kelembaban udara 65%. Sedangkan pada subyek yang berjalan kaki, pada situasi iklim yang sama, dia merasa nyaman. Hal ini bisa terjadi karena pengaruh faktor metabolisme tubuh, dimana pada orang duduk santai maka tingkat metabolisme termalnya tentu lebih rendah dibandingkan saat orang berjalan kaki, sehingga respon termal tubuh terhadap iklim lingkungan juga akan berbeda. Saat duduk santai mendapat angin yang berlebih, tentu akan merasa dingin, sedangkan saat orang berjalan, membutuhkan angin lebih banyak untuk pendinginan tubuhnya agar merasa nyaman. Dengan demikian rasional dari dua persamaan regresi tersebut dapat diterima, dengan keterangan logikal tersebut.



Gambar.1. Pengaruh kecepatan angin



Gambar.2. Pengaruh perubahan suhu udara

## KESIMPULAN DAN SARAN

Secara umum disimpulkan bahwa manusia dapat merasakan perubahan kenyamanan apabila mendapat penetrasi iklim lingkungan yang berbeda. Di malam hari, faktor suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin, dapat dinyatakan sebagai faktor penentu perubahan rasa kenyamanan termal bagi manusia dewasa yang beraktifitas di daerah beriklim tropis lembab. Penelitian menghasilkan persamaan regresi untuk memprediksi apakah seseorang merasa nyaman atau tidak apabila mendapat penetrasi iklim tertentu di ruang luar saat malam

hari. Persamaan yang dihasilkan melalui studi ini terbatas penggunaannya untuk kasus manusia Indonesia dewasa berpakaian tropis, dan ada 2 persamaan masing masing untuk yang berkegiatan duduk dan jalan santai. Dalam kasus penelitian di Kota Manado, bagi manusia dalam posisi duduk atau berjala santai pada rentang iklim suhu udara antara 27.7 sd 33.5 °C, disertai kelembaban udara pada rentang 63.9 sd 73.4% serta kecepatan angin antara 0.1 sd 4 m/s, maka manusia merasa pada rentang persepsi antara rasa dingin dan panas, dimana diantara rentang variabel iklim tersebut terdapat persepsi rasa dingin, agak dingin, nyaman dan agak panas.

---

## KEPUSTAKAAN

1. Cornelia Hildegardis, Anak Agung Ayu Oka Saraswati, I Dewa Gede Agung Diasana & Ni Ketut Agusinta Dewi (2019), *Student Perception of Thermal Comfort of Outdoor Space in Nusa Nipa University, Maumere, East Nusa Tenggara*. International Journal of Engineering and Emerging Technology , 4, (2) pp.15-19.
2. Erik Johansson, Rohinton Emmanuel & Hans Rosenlund (2004). *Microclimate and thermal comfort in the warm humid city of Colombo, Sri Lanka*. The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, 19 – 22 September 2004.
3. Haijing Huang & Mingxi Peng (2019). *The outdoor thermal comfort of urban square: A field study in a cold season in Chongqing*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 467 (2020).
4. Ivan Julio Apolonio Callejas, Luciane Cleonice Durant, , Eduardo Diz-Mellado & Carmen Galán-Marín, (2020), *Thermal Sensation in Courtyards: Potentialities as a Passive Strategy in Tropical Climates*. Sustainability 2020, 12, 6135.
5. Johansson E. & Yahia M. W (2012). *Improving outdoor thermal comfort in warm-humid Guayaquil, Ecuador through urban design*. ICUC8 – 8th International Conference on Urban Climates, 6th-10th August, 2012, UCD, Dublin Ireland.
6. Julia R. Lucchese, Larissa P. Mikuri, Natacha V. S. de Freitas & Wagner A. Andreasi (2016). *Application of selected indices on outdoor thermal comfort assessment in Midwest Brazil*. International Journal of Energy and Environment, 7(4) pp.291-302.
7. Naika Meili, Juan Angel Acero, Nadav Peleg , Gabriele Manoli, Paolo Burlando & Simone Fatichi. *Vegetation cover and plant-trait effects on outdoor thermal comfort in a tropical city*. Building and Environment 195 (2021).
8. Sangkertadi Sangkertadi & Reny Syafriny (2016). *Pair influence of wind speed and mean radiant temperature on outdoor thermal comfort of humid tropical environment*. Journal of Urban and Environmental Engineering . 10 (2) pp.177-185.
9. S. Sangkertadi & R.Syafriny (2014). *New Equation for Estimating Outdoor Thermal Comfort in Humid-Tropical Environment*. European Journal of Sustainable Development 3 (4) pp. 43-52
10. Souradeep Gupta, Prashant Anand & Shashwat, (2015), *Improvement of outdoor thermal comfort for a residential development in Singapore*. International Journal of Energy and Environment, 6, (6), pp.567-586.
11. Santi, Siti Belinda, Hapsa Rianty & Aspin (2019). *Identifikasi iklim mikro dan kenyamanan termal ruang terbuka hijau di Kendari*. NALARs Jurnal Arsitektur. 18 (1) pp. 23-34
12. Septian Eka Prayoga & Arif Kusumawanto (2019). *Thermal comfort simulation on Cik di Tiro corridor*. DIMENSI – Journal of Architecture and Built Environment, 46, (1) pp. 67-78.
13. Tito Hadinata (2019). *Kinerja kenyamanan termal lingkungan kampung Lerengan Semarang (Studi Kasus Kampung Wonosari)*. Tesis Magaster Teknik Arsitektur, Universitas Katolik Soegijapranata.
14. Wei Yang, Yaolin Lin, & Chun-Qing Li (2018) *.Effects of Landscape Design on Urban Microclimate and Thermal Comfort in Tropical Climate . Hindawi. Advances in Meteorology. 2018.*