

LAPORAN PENELITIAN

**PEMETAAN TEMPERATUR KAWASAN KAMPUS PUSAT
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA SURABAYA**

Oleh:

Anik Juniwati ST, MT

Luciana Kristanto ST, MT

Ir. Wanda K. Widigdo, M.Si

JURUSAN ARSITEKTUR



**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA
SURABAYA**

2013

Halaman Pengesahan

- 1 a. Judul Penelitian :Pemetaan Temperatur Kawasan Kampus Pusat Universitas Kristen Petra Surabaya
- b. Nomor Penilitan : 01 /Pen-Arsitektur/2013
- c. Bidang Ilmu : Sains Arsitektur

- 2 Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Anik Juniwati, ST., MT.
- b. Jenis Kelamin : Perempuan
- c. Pangkat/Golongan/NIP : IIC/97005
- d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- e. Fakultas/Jurusan/Kelompok Kajian : FTSP/Arsitektur/ Kelompok Kajian Arsitektur Tropis
- f. Universitas : Universitas Kristen Petra

- 3 Anggota Peneliti 1:
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Luciana Kristanto, ST., MT.
- b. Jenis Kelamin : Perempuan
- c. Pangkat/Golongan/NIP : IIC/03001
- d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- e. Fakultas/Jurusan/Kelompok Kajian : FTSP/Arsitektur/ Kelompok Kajian Arsitektur Tropis
- f. Universitas : Universitas Kristen Petra

- 4 Anggota Peneliti 2:
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Wanda K. Widigdo, MSi.
- b. Jenis Kelamin : Perempuan
- c. Pangkat/Golongan/NIP : IVC/82008
- d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- e. Fakultas/Jurusan/Kelompok Kajian : FTSP/Arsitektur/ Kelompok Kajian Arsitektur Tropis
- f. Universitas : Universitas Kristen Petra

- 5 Lokasi Penelitian : Universitas Kristen Petra

- 6 Jangka Waktu Penelitian : Oktober 2011- April 2013

- 7 Biaya
- a. Sumber dari UK Petra : Rp. 4.952.980
- b. Sumber lainnya : -
- Total : Rp. 4.952.980

Surabaya, 11 April 2013

Mengetahui,

Ketua Peneliti,

Agus Dwi Hariyanto, ST.MT

Anik Juniwati ST,MT.

NIP: 99033

NIP: 97005

Menyetujui:

Dekan FTSP,

Ir. Handoko Sugiharto, MT.

NIP: 84028

PEMETAAN TEMPERATUR KAWASAN KAMPUS PUSAT UNIVERSITAS KRISTEN PETRA, SURABAYA

Abstrak

Penelitian ini adalah pemetaan temperatur udara di kawasan kampus tengah Universitas Kristen Petra. Tujuan pemetaan temperatur kawasan ini, adalah untuk melihat hubungan antara penutupan area, dinding bangunan yang terkena radiasi matahari dengan temperatur udara di kawasan tersebut.

Kampus Universitas Kristen Petra merupakan kampus di wilayah urban, yang berkembang dengan luasan lahan terbatas dan sekelilingnya telah padat dengan berbagai jenis bangunan. Kebutuhan ruang yang meningkat di area kampus menyebabkan area terbangun semakin luas dan bangunan semakin tinggi. Hal ini menyebabkan prosentase area perkerasan dan area terbangun semakin besar, sementara lahan untuk penghijauan semakin sempit. Kondisi seperti ini dapat berakibat pada temperatur ruang luar yang cenderung menjadi lebih panas sehingga mengganggu kenyamanan civitas akademika untuk beraktifitas di ruang-luar. Akibat lainnya adalah meningkatkan beban panas dalam bangunan sehingga berdampak pada penggunaan energi yang banyak karena kebutuhan pendinginan di dalam bangunan.

Sebagai studi awal dilakukan pemetaan temperatur di kampus tengah Universitas Kristen Petra. Pemetaan temperatur didasarkan pada hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi *software Screening Tool for Estate Environment Evaluation (Steve tool)* pada lima titik-titik ukur. Data iklim yang diperhitungkan dalam simulasi dan analisis adalah temperatur minimum, rata-rata dan maksimum Surabaya yang diambil dari BMKG Juanda. Hasil pemetaan temperatur di atas digunakan untuk mengkaji peran dari tutupan lahan, yaitu dinding bangunan, penghijauan dan perkerasan terhadap temperatur udara pada masing-masing titik ukur. Dari hasil kajian diharapkan ada rekomendasi yang bisa dipakai untuk perbaikan kualitas penutupan lahan ruang luar pada kampus pusat Universitas Kristen Petra.

Kata Kunci : temperatur udara pada kawasan, penghijauan, perkerasan, dinding.

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	ii
PEMETAAN TEMPERATUR KAWASAN KAMPUS PUSAT UNIVERSITAS KRISTEN PETRA, SURABAYA	iii
Abstrak.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vi
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Sasaran.....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Fenomena Urban Heat island.....	3
2.2. Pengaruh Elemen Putupan Lahan dan Massa Bangunan	4
2.3. Penghijauan (Vegetasi)	5
3. METODOLOGI.....	6
3.1. Disain Dan Metode Penelitian.....	6
3.2. Studi Iklim Mikro Kawasan Kampus Pusat UK Petra.....	6
3.3. Pengukuran Lapangan.....	7
3.4. Simulasi Komputer	8
3.5. Validasi Hasil Simulasi	8
3.6. Analisis.....	9
3.7. Rekomendasi	9
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	10
4.1. Validasi.....	10
4.2. Hasil Pengukuran Lapangan	12
4.3. Hasil Simulasi	15

5. KESIMPULAN DAN SARAN	17
DAFTAR PUSTAKA	18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3-1 Skema Penelitian	6
Gambar 3-2 Site Plan dan pembagian zona morfologi	7
Gambar 4-1 Grafik Perbandingan Temperature Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran pada kelima Zona.....	10

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Recent Tropical Urban Heat Island Studies	8
Tabel 3-1 Data Morfologi Masing-masing Zona	13

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Makin meningkatnya temperatur udara pada kawasan dapat mengakibatkan munculnya fenomena yang disebut dengan *urban heat island* (UHI). Kondisi tersebut mempengaruhi kenyamanan termal manusia di ruang luar dan berakibat pada beban panas dalam bangunan sehingga berdampak pada pemborosan energi karena kebutuhan pendinginan di dalam bangunan.

Universitas Kristen Petra sebagai urban kampus yang berada di Surabaya, juga berperan ~~juga~~ dalam penciptaan temperatur kawasan urban Surabaya. Selain itu seiring dengan program *Green Campus*, maka seharusnya UK Petra menciptakan kawasan yang dapat mengurangi masalah *urban heat island* (UHI) dalam skala mikro. Oleh karena itu kampus UK Petra dapat dianggap mewakili suatu 'kota' dalam skala mikro yang selanjutnya akan disebut sebagai *urban lab*.

Temperatur kawasan urban dipengaruhi oleh tutupan lahan, yaitu bangunan, perkerasan, penghijauan dan sebagainya. Elemen tersebut secara lebih rinci dinyatakan sebagai parameter penelitian, yang meliputi: persentase area perkerasan, rasio rata-rata ketinggian bangunan terhadap area terbangun, total area permukaan dinding, rasio penghijauan (*green plot ratio*), faktor langit dan rata-rata albedo permukaan.

Penelitian ini mengkaji pengaruh masing-masing parameter terhadap temperatur yang terjadi pada kawasan *urban lab* di kampus UK Petra. Dari hasil tersebut, diharapkan diperoleh usulan tutupan lahan yang dapat mengurangi tingginya temperature udara di suatu kawasan.

1.2. Perumusan Masalah

Meningkatnya temperatur udara di perkotaan berakibat pada ketidaknyamanan termal manusia. Saat ini pada kawasan terbangun di Surabaya belum ada pemetaan temperatur udara akibat variasi tutupan lahan di atas kawasan tersebut. Sehingga tidak diperoleh gambaran bagaimana keterkaitan antara area perkerasan, kepadatan bangunan di kawasan, area permukaan, *green plot ratio*, dan *albedo* dengan temperatur kawasan.

1.3. Tujuan

Tujuan utama penelitian ini adalah mendeskripsikan keterkaitan jenis tutupan lahan terhadap temperatur udara kawasan dan mengetahui dampak area hijau bagi perbaikan temperatur udara kawasan yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan kawasan. Hasil Penelitian ini selain dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan kawasan, juga dapat memberikan usulan perbaikan temperatur kawasan UK Petra.

1.4. Sasaran

Luaran penelitian berupa peta temperatur kawasan kampus pusat UK Petra pada area titik ukur. Disamping itu juga diperoleh peta temperatur udara kawasan diatas berbagai tutupan lahan yaitu bangunan, area hijau (*Green plot ratio*) dan perkerasan. Hal ini dapat menguji efektivitas variasi tutupan lahan, pengaruhnya terhadap temperatur lingkungan dan terutama ruang terbuka hijau dalam menurunkan temperatur udara. Sehingga didapatkan koefisien kondisi iklim mikro di kawasan yang di-studi (*Urban Lab*) dalam formula berdasarkan Steeve tool yang selanjutnya dapat dijadikan model untuk perbaikan temperatur udara kawasan. Sehingga dapat memberikan rekomendasi perbaikan tutupan lahan untuk menurunkan temperatur kawasan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fenomena Urban Heat island

Penelitian-penelitian tentang *urban heat island* (UHI) yang pernah dilakukan oleh Emmanuel (2005), di rangkum dalam Tabel 3.1. berikut.

Tabel 2-1 Recent Tropical Urban Heat Island Studies

<i>Author/s</i>	<i>City</i>	<i>Parameter/s studied</i>	<i>Major finding</i>
Nichol (1996a, 1996b)	Singapore	Remotely sensed surface temperature	Due to high solar azimuth, horizontal surface temperatures are more representative of urban air temperatures in the tropics. Tropical cities do not have a single UHI; rather a collection of small UHIs separated by cooler areas.
Jauregui and Romales (1996)	Mexico City	Convective precipitation	Wet season rainfall, as well as the frequency of intense rainfall (> 20 mm/hr), appears to have increased over the city. The latter is related to daytime UHI.
Jauregui and Tejeda (1997)	Mexico City	Specific humidity	City is drier during the day and wetter during the night than rural areas. The city-rural differences also depend on the season (smaller during dry season and larger during wet season).
Jauregui (1997)	Mexico City	Air temperature	Nocturnal heat island was more frequent (75 percent of the time) than daytime heat island (25 percent). Daytime heat island may have been caused by differences in evaporative cooling from wet surfaces during the wet season.
Jauregui <i>et al.</i> (1997)	Mexico City	Air temperature and relative humidity	The heat-island effect reduces the "cold" nights to "cool" and "cool" nights to "comfortable" bioclimate (as measured by effective temperature - ET).
Barr-Kumarakulasinghe (1997)	16 cities in South India and Sri Lanka	Air temperature	Negligible temperature trends were seen in all but one city (Colombo, Sri Lanka).
Deosthali (1999)	Pune, India	Wet and dry bulb temperature	Rising trends in annual and monthly thermal comfort (THI), particularly during the day. The presence of a "moisture island" detected.
Oke <i>et al.</i> (1999)	Mexico City	Net radiation, sensible and latent heat fluxes	During daytime, the heat uptake by buildings is so large that convective heating is severely suppressed in the central city with massive stone walled buildings. The heat release at night is equal to or larger than net radiation.
Wienert and Kuttler (2001)	Several cities	Air temperature differences between city and rural areas	UHI magnitude is linked to latitude (low latitudes have smaller UHI), but this correlation is largely explained by differences in anthropogenic heat and radiation balance.
Emmanuel (2003)	Colombo	Air temperature and relative humidity	Thermal comfort patterns (THI) are strongly correlated to hard land cover changes, particularly in the suburban areas.

Dari penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan, bahwa ada kaitan antara fenomena *urban heat island* (UHI) yang distudi dengan pemetaan temperatur dan kelembaban udara relatif (RH). Pada kawasan urban didapatkan, bahwa pada siang hari

temperatur udara terasa lebih panas, sedangkan malam hari yang seharusnya temperatur udara dingin (sejuk) menjadi kurang dingin (sejuk). Sedang perbedaan kondisi kelembaban udara antara kawasan urban dibandingkan pedesaan yaitu pada kawasan urban pada siang hari udara lebih kering, sedang pada malam hari lebih lembab dibanding pedesaan.

2.2. Pengaruh Elemen Putupan Lahan dan Massa Bangunan

Menurut Jusuf (2009), pada alat perhitungan prediksi temperatur udara yang disebut *Steeve tool*, temperatur udara yang berkaitan dengan elemen tutupan lahan dinyatakan dalam T-min, T-max dan T-ave. Hipotesa yang dinyatakan oleh *Steeve tool* ialah temperatur udara di suatu titik pada ketinggian tertentu adalah fungsi dari karakteristik iklim lokal dimana penyimpangannya tergantung pada karakteristik morfologi lingkungan urban sekitarnya (bangunan, perkerasan, dan ruang terbuka hijau) pada radius tertentu.

Teori tentang pengaruh massa termal suatu bangunan terhadap lingkungan dalam radius area tertentu menurut Knowles (1977), didapatkan dengan perhitungan rasio rata-rata ketinggian bangunan terhadap area lantai total. Dalam penelitian ini, bangunan dinyatakan sebagai massa termal yang mempengaruhi lingkungan pada radius tertentu yaitu diperhitungkan dengan ratio rata-rata ketinggian bangunan terhadap area lantai total.

Penelitian yang dilakukan di kawasan perumahan di Semarang oleh Maidinita, D et al (2009), kenyamanan termal di ruang luar kawasan pemukiman akan tercipta, bilamana profil penutup tanahnya tidak didominasi material keras atau paving (sebesar 25%), tetapi komposisi material rumput menjadi alternatifnya. Sangat disarankan adanya 40% lahan terbuka hijau.

Agus BP (2003), pada penelitiannya di Kampus A, Universitas Trisakti, Jakarta, menemukan, bahwa pola bayangan akibat perletakan masa bangunan dan pohon dapat menurunkan temperatur ambien. Penataan vegetasi terutama pohon dapat menurunkan temperature bola basah (*wet bulb temperature*) karena proses *evapotranspirasi* oleh pohon. Penataan pengerasan berdasarkan *albedo* yang dimiliki dapat mengurangi pancaran radiasi termal dan menurunkan temperatur radian.

2.3. Penghijauan (Vegetasi)

Ada beberapa pendapat dari berbagai penelitian yang sudah dilakukan mengenai pengaruh penghijauan terhadap temperatur udara kawasan. Robinette (1973) menyatakan pengaruh langsung dari ruang terbuka hijau di kawasan urban kurang signifikan dalam menurunkan temperatur udara; pengaruhnya lebih pada penurunan dampak radiasi matahari. Sedangkan Yoshikado & Tsuchida (1966) dalam Widigdo & Kristanto (2007) menyatakan bahwa di iklim tropis, udara di urban menjadi lebih panas karena pengaruh panas permukaan yang tidak diimbangi oleh kecepatan angin sehingga terjadi *urban heat island*. Keadaan ini dapat dikurangi dengan menambahkan vegetasi pada ruang-ruang terbuka-

Oke (1989) dalam Widigdo & Kristanto (2007), menyatakan bahwa yang lebih penting bukan apa yang dapat diberikan oleh vegetasi, melainkan bahwa vegetasi mampu mempertahankan pengurangan pemanasan kawasan urban. Lebih lanjut menurut Oke (1989); Shasua-Bar dan Hoffman (2003) dalam Widigdo & Kristanto (2007), meskipun pengurangan temperatur oleh ruang terbuka hijau yang luas hanya sekitar 1-2 K, tetapi pengaruh tidak langsung dalam mengurangi peningkatan pemanasan adalah nilai yang lebih penting. Sedangkan menurut beberapa peneliti lainnya, yaitu: Ames (1980), Ulrich (1984), Wileke (1989) yang dikutip dalam Widigdo & Kristanto (2007), pengaruh lain dari ruang terbuka hijau di area urban ialah peningkatan kenyamanan psikologis bagi penduduknya.

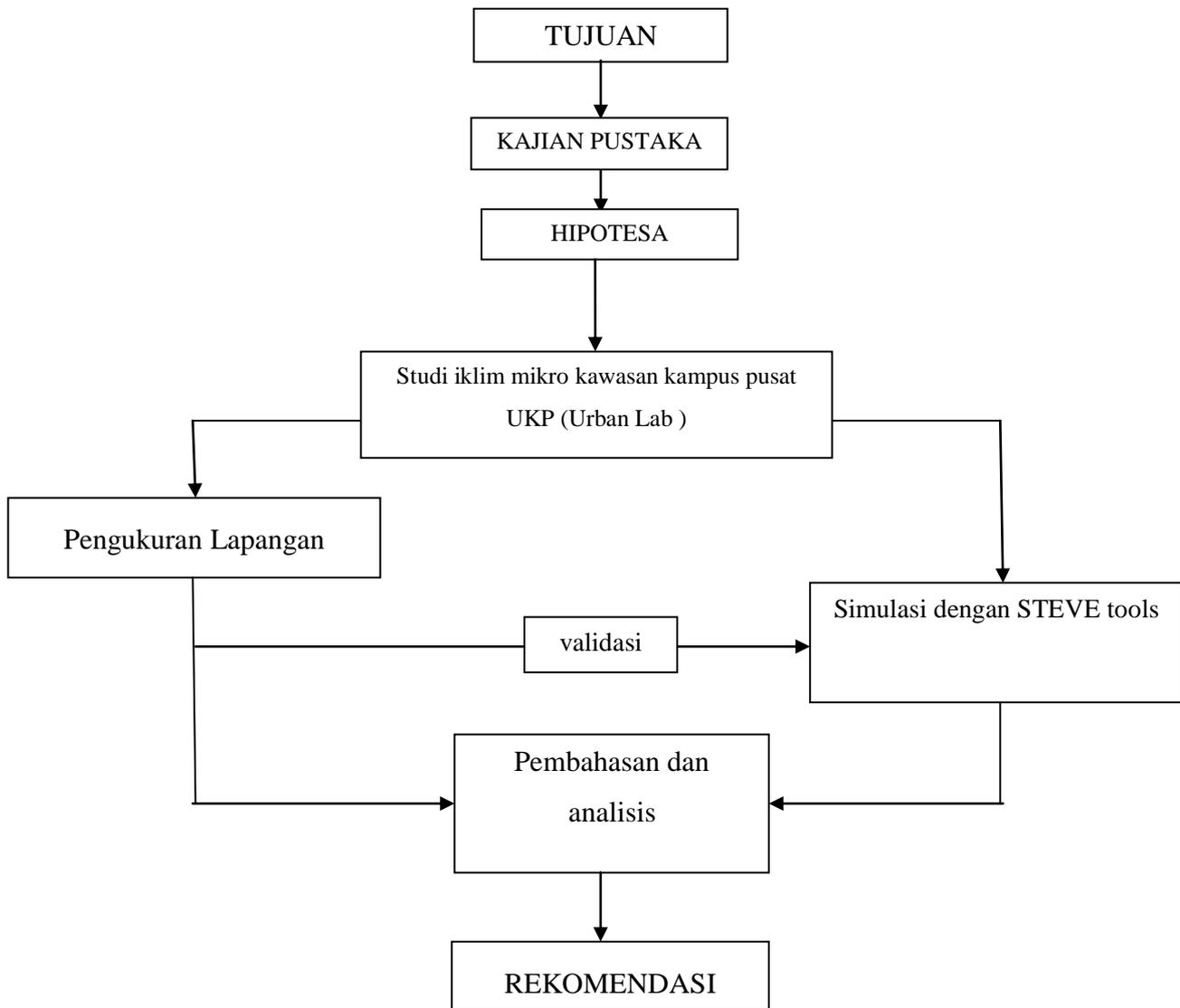
Pada penelitian Tauhid at all (2008), yang dilakukan di Semarang, disimpulkan bahwa luas penutupan vegetasi pohon atau hutan kota 10% belum memadai sebagai *ameliorasi* iklim mikro, khususnya temperatur udara, dan persentase luas penutupan vegetasi atau hutan kota yang mampu menekan temperature udara adalah 30%. Efek vegetasi relatif lebih sedikit pengaruhnya terhadap penurunan temperatur udara. Arah dan kecepatan angin serta penempatan vegetasi lebih memberikan efek penekanan kenaikan temperatur udara.

Pengertian *Green Plot Ratio* (GPR) dari Lay (2008), Shuvo (2008), yakni suatu angka rata-rata nilai *Leaf Area Index* (LAI) yang menyatakan kepadatan total luas permukaan daun dari jenis tanaman tertentu (dibedakan antara rumput, semak-semak dan pohon) yang terekspos ke matahari dalam suatu angka koefisien; yakni 1, 3 dan 6 terhadap 10. Maka satu area luasan yang tertutup rumput seluruhnya akan memiliki GPR 1:1 sedangkan semak-semak dan pohon memiliki ratio 6:1 dan 10:1.

3. METODOLOGI

3.1. Disain Dan Metode Penelitian

Metode penelitian dapat digambarkan dengan skema seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.1.berikut



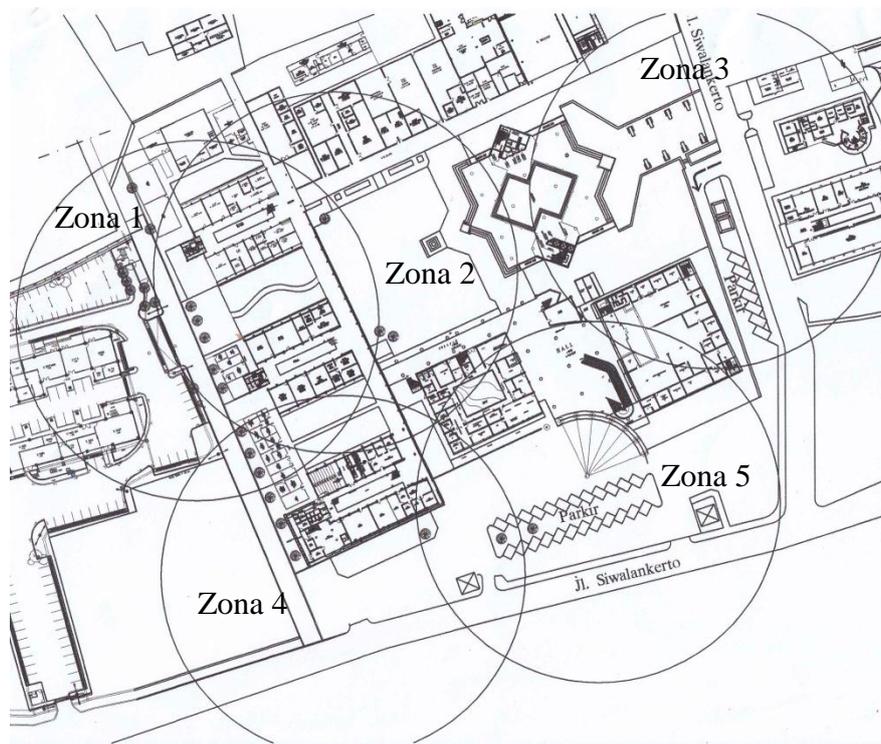
Gambar 3-1 Skema Penelitian

3.2. Studi Iklim Mikro Kawasan Kampus Pusat UK Petra

Kampus UK Petra dapat dipakai sebagai suatu “kota” dalam skala mikro seperti terlihat pada gambar site plan UK Petra (Gambar 3.2.) . Dalam kampus UK Petra yang

diteliti, yaitu kawasan kampus pusat, dimana dapat terlihat area hijau di tengah-tengah dikelilingi bangunan bertingkat menengah hingga tinggi yang beratap miring dengan penutup atap aluminium. Bila dilakukan perbaikan pada area hijau terbuka diharapkan dapat diperoleh temperatur udara rata-rata yang lebih rendah dan meningkatkan kenyamanan termal ruang luar untuk aktivitas di ruang luar.

Kawasan kampus pusat UK Petra seperti terlihat pada gambar site plan berikut dibagi menjadi lima zona morfologi dengan mempertimbangkan area hijau, perkerasan dan perletakan bangunan. Studi Iklim mikro didasarkan pada data kondisi masing-masing titik ukur dalam radius 50m, yang meliputi area perkerasan, ketinggian bangunan, luasan area terbangun, area permukaan dinding, jenis dan luasan penghijauan, faktor langit dan albedo permukaan.



Gambar 3-2 Site Plan dan pembagian zona morfologi

3.3. Pengukuran Lapangan.

Instrumen utama yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah HOBO data logger untuk pengukuran temperatur. HOBO Data logger dilengkapi dengan pelindung radiasi matahari. HOBO diletakkan pada titik pusat zona, pada ketinggian 3 meter dengan pertimbangan faktor keamanan alat dari sentuhan orang yang beraktifitas disekitar alat.

Sehubungan dengan keterbatasan software Steve Tools yang tidak memperhitungkan kelembaban, maka kondisi optimal pengukuran dilakukan pada musim kemarau (Jusuf 2009). Pengukuran dilakukan pada 2 periode masing-masing selama 2 minggu. Pengukuran pertama dilakukan pada pertengahan-akhir Mei 2012 yang kemudian gagal karena ada permasalahan pada perolehan data meteorologi. Pengukuran diulang pada pertengahan-akhir Oktober 2012 yaitu pada tanggal 17 – 30 Oktober 2012.

3.4. Simulasi Komputer.

Menggunakan Steve tool (Screen-tool for Estate Environment Evaluation) berdasarkan dua prediksi (Jusuf, 2009), yaitu prediksi iklim mikro urban lab, yang meliputi temperatur minimum harian, temperatur rata-rata harian dan temperatur maksimum harian yang didapat dari hasil unduh harian temperature Surabaya pada Website Stasiun meteorologi Juanda, serta radiasi solar harian yang didapat dari hasil pencatatan data logger dikawasan UK Pretra. Prediksi kedua adalah prediksi morfologi urban yang meliputi persentase area perkerasan dalam radius 50 m (PAVE) ditentukan dari gambar siteplan UK Petra, rasio rata-rata ketinggian bangunan yang berada dalam satu zona (HBDG), total area permukaan dinding yang beada di dalam satu zona (WALL), rasio penghijauan, yaitu nilai total *leaf area* dibagi dengan luas lahan hijau dalam satu zona (GNPR), faktor langit diperhitungkan berdasarkan rata-rata ketinggian dan rata-rata jarak antar bangunan di dalam satu zona (*canyon heigh*) yang dihitung dengan bantuan elemen program Steve tools, dan rata-rata albedo permukaan dalam satu zona (ALB). Data masukkan untuk program Steve Tools sebagai berikut :

Tabel 3-1 Data Morfologi Masing-masing Zona

	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 3	ZONE 4	ZONE 5
PAVE (%)	31.57	21.41	52.64	25.82	65.51
BDG (%)	41.69	48.09	33.52	48.16	23.77
Green area (%)	26.74	30.5	13.84	26.02	10.72
GnPR	54.51	35.79	93.41	29.2	167.2
- luas area hijau	524.77	598.56	271.61	510.64	210.38
- total leaf area	28602.78	21420.71	25370	14909.94	35176.55
AVERAGE HEIGHT (m)	8.56	11	11.72	6.92	8.93
WALL	6399.5	4041.4	6940	3130	1372.5
ALB	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
- average canyon width	24.68	32.14	20.01	35.48	35.35

3.5. Validasi Hasil Simulasi

Validasi dilakukan secara internal melalui verifikasi hasil simulasi terhadap hasil pengukuran lapangan.

3.6. Analisis

Menganalisis pengaruh faktor-faktor tutupan lahan terhadap temperatur yang terjadi. Bagaimana tinggi bangunan, luasan dinding, area perkerasan, area hijau dan nilai GNPR, serta faktor langit pada suatu zona menentukan temperatur yang terjadi. Parameter lain yang dipakai untuk menilai temperatur yang adalah termal netral (*Thermal Neutrality*= T_n) yaitu temperatur yang dirasa tidak panas dan tidak dingin oleh manusia yang berada pada daerah tersebut. Berdasarkan temperature rata-rata tahunan Surabaya $27,6^{\circ}\text{C}$ diperoleh termal netral 26.15°C , sehingga rentang temperature nyaman menjadi $26.15^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ K}$.

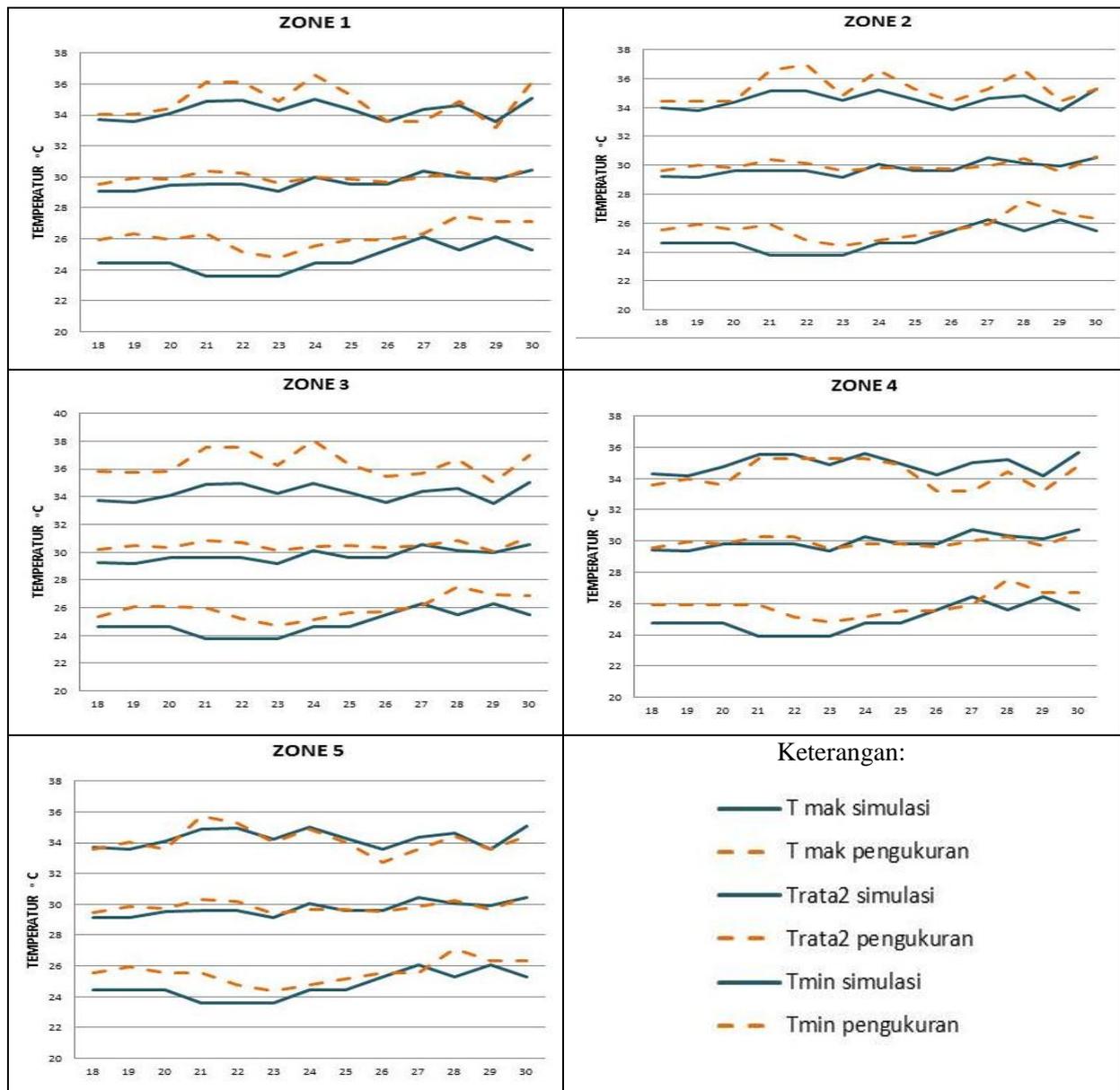
3.7. Rekomendasi

Hasil penelitan ini berupa rekomendasi perbaikan kawasan agar diperoleh peta temperature yang lebih baik serta usulan tindak lanjut bagi penelitian lanjutan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Validasi

Verifikasi hasil simulasi program Steve Tools dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi terhadap data hasil pengukuran lapangan. Data yang dibandingkan meliputi temperature maksimum, temperature rata-rata dan temperature minimum masing-masing zona, seperti yang terlihat pada grafik di Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4-1 Grafik Perbandingan Temperature Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran pada kelima Zona

Secara umum sebaran temperatur maksimal, temperatur rata-rata dan temperatur minimal hasil pengukuran dan hasil simulasi pada kelima zona terlihat identik. Simpangan terbesar tidak lebih dari 2 K. Simpangan atau perbedaan tersebut dimungkinkan terjadi akibat penyederhanaan dari kondisi sesungguhnya atau adanya pembulatan angka pada data masukkan program Steve Tools, seperti telah disebut dalam 3.4. Beberapa data masukan yang merupakan pembulatan atau penyederhanaan adalah:

- Data masukan temperatur minimum, rata-rata dan maksimum harian Surabaya diperoleh dari hasil unduh harian temperatur Surabaya pada website Stasiun Meteorologi Juanda. Data tersebut merupakan pembulatan pada kelipatan 0.5 sehingga menyebabkan prediksi kurang akurat.
- Penyederhanaan bentuk bangunan sebagai balok, sehingga kemiringan, cekukan atau jorokan pada bidang vertikal seperti atap, balkon, shading, dan sebagainya diabaikan. Hal ini mempengaruhi data masukan tentang rasio rata-rata ketinggian bangunan (HBDG) dan luasan dinding (WALL).
- Ketinggian bangunan dan lebar canyon yang beragam dirata-rata tanpa perhitungan yang lebih teliti terhadap seberapa besar atau seberapa banyak keberadaan masing-masing tipe, sehingga data HBDG dan SV diperhitungan kurang tepat.
- Penyederhanaan terhadap bentuk dan ukuran tanaman yang dianggap bulat. Karakter tanaman dibedakan hanya berdasarkan kepadatan daunnya. Pada kondisi sebenarnya ada tanaman yang berjenis dan berdiameter sama mempunyai karakter yang berbeda karena kesegarannya berbeda tetapi kondisi kenyataan tersebut tidak diperhitungkan dalam simulasi.

Profil temperatur hasil simulasi dengan profil temperatur hasil pengukuran lapangan terlihat identik, baik pada temperatur maksimum, temperatur rata-rata dan temperatur minimum keduanya menunjukkan fluktuasi dari hari ke hari yang sama. Perbedaan terjadikarena simpangan profil temperatur hasil pengukuran lapangan lebih besar dari hasil simulasi. Kondisi yang berlawanan antara kedua profil hanya terjadi sekali, yaitu pada temperatur minimal tanggal 28 Oktober 2012, dimana pada kelima zona profil temperatur minimum hasil simulasi menunjukkan fluktuasi menurun dari hari sebelumnya kemudian naik kembali di hari selanjutnya, sedang hasil pengukuran lapangan menunjukkan fluktuasi naik dari hari sebelumnya kemudian turun pada hari selanjutnya. Hal ini mungkin

dipengaruhi oleh data input untuk temperatur minimum referen pada hari yang bersangkutan, karena tidak terjadi pada temperature rata-rata dan temperature maksimum di hari yang sama.

Profil temperatur rata-rata hasil pengukuran dan hasil simulasi pada zona satu, dua, empat dan lima terlihat hampir berhimpit. Pada zona tiga temperatur rata-rata hasil pengukuran 1 K lebih tinggi dibanding temperatur rata-rata hasil simulasi.

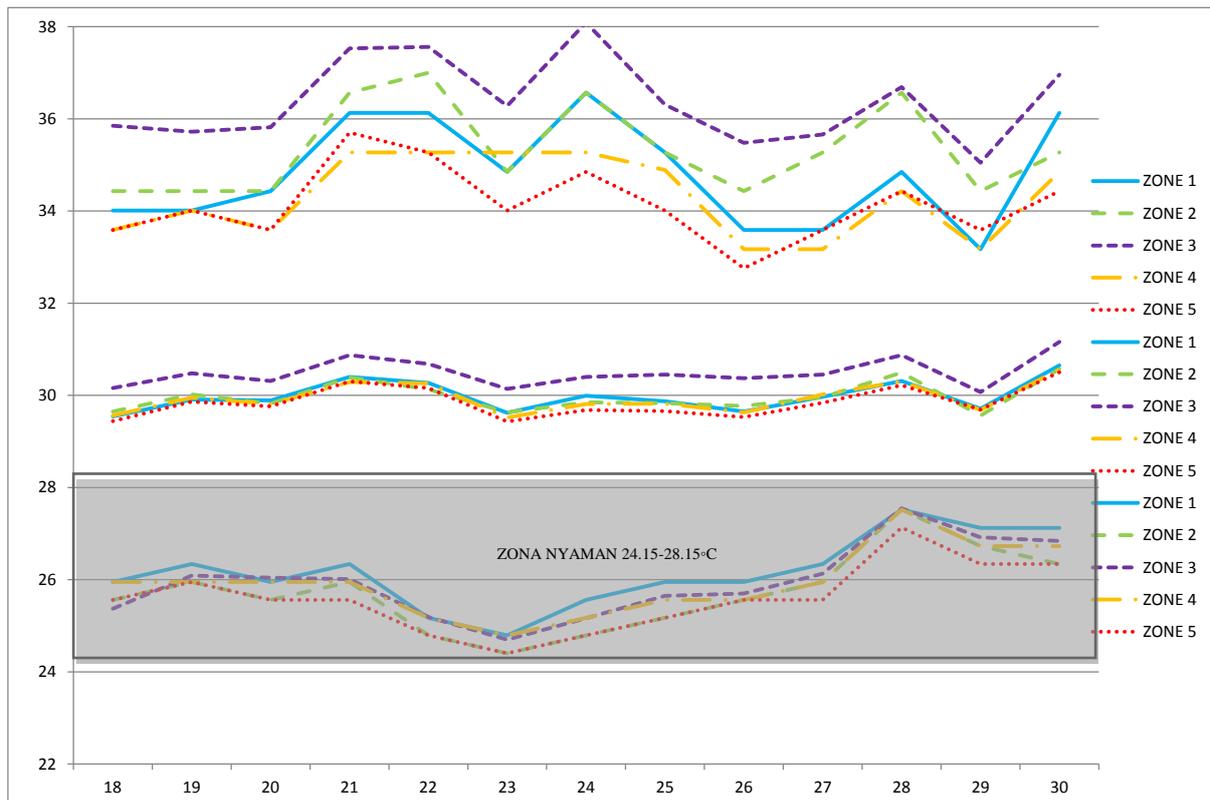
Fluktuasi temperatur maksimum pada tanggal 21,22,24 hasil pengukuran di zona satu, dua dan tiga cenderung lebih tinggi dibanding hasil simulasi, sedang pada tanggal 24 di zona empat dan lima justru lebih rendah. Perbedaan yang paling menyolok terlihat pada zona tiga dimana hasil pengukuran lebih tinggi 2 K dibanding hasil simulasi namun kurva fluktuasinya identik. Perbedaan yang besar pada zona tiga diperkirakan terjadi karena data masukan untuk ketinggian bangunan (HBDG) kurang tepat karena rata-rata ketinggian diperoleh dari penjumlahan ketinggian 4 bangunan dibagi 4. Empat bangunan tersebut adalah gedung W 10 lantai, gedung K 3 lantai, pos keamanan 1 lantai dan bangunan The Square 17 lantai yang besar bangunannya sangat berbeda.

Profil temperatur minimum hasil pengukuran hampir selalu lebih tinggi sampai 1 K dibanding hasil simulasi. Hal ini mungkin terjadi akibat data masukan untuk temperatur referensi minimum kurang akurat karena angka dibulatkan pada kelipatan 0,5. Atau adanya penyimpanan panas dari material yang belum diperhitungkan.

4.2. Hasil Pengukuran Lapangan

Pengukuran temperatur pada lima titik ukur selama 13 hari menghasilkan profil temperatur maksimal, temperatur rata-rata dan temperatur minimal seperti terlihat pada gambar 4.2. Pada grafik terlihat bahwa profil temperatur rata-rata lima titik ukur pada ke lima zona adalah identik. Perbedaan temperatur antar zona paling besar terjadi pada temperatur maksimal sebesar 2 K. Sedang perbedaan temperatur rata-rata dan temperatur minimal antar zona hanya sebesar 0.5 K. Perbedaan temperature maksimal yang besar terjadi pada siang hari dan terjadi secara simultan dengan radiasi matahari. Oleh karena itu perbedaan karakter penutupan lahan dan pembayangan lingkungan akan banyak mempengaruhi penerimaan radiasi matahari baik secara langsung (*beam*) maupun tak langsung (*diffuse*) pada zona yang bersangkutan sehingga terlihat perbedaan temperatur yang lebih mencolok. Sementara temperatur minimal terjadi pada pagi hari dimana pengaruh karakter zona terhadap

temperatur dipengaruhi oleh penyimpanan panas dan reradiasi materialnya, yang nilainya tidak terlalu terlalu signifikan dibanding dengan pengaruh panas radiasi di atas.



Gambar 4-2 Profil Temperatur Hasil Pengukuran Lapangan

Temperatur nyaman hanya terjadi pada temperatur minimal, yang berarti terjadi hanya pada pagi hari. Temperatur rata-rata dan temperatur maksimal berada di atas temperatur nyaman. Hal ini berarti temperature pada waktu menjelang siang hingga sore akan terasa panas. Akan tetapi belum dapat dipakai untuk menilai kenyamanan termal secara total karena elemen kelembaban, angin dan radiasi belum diperhitungkan.

Zona terpanas, yaitu ditunjukkan dengan temperatur maksimal tertinggi dan temperatur rata-rata tertinggi, terjadi pada zona tiga. Sedang temperatur minimal zona tiga merupakan tertinggi kedua, di bawah temperatur minimal zona satu. Hal ini disebabkan karena pada zona tiga terdapat area perkerasan yang luas yaitu Jalan Siwalan Kerto yang ditutup aspal dan jalan masuk kompleks kampus yang ditutup paving dengan ratio luasan perkerasan 52,64 %, sedang ratio luas area hijau hanya 13,84% dengan GNPR 93,41. Area terbangun 33,52% dimana terdapat dua bangunan tinggi yaitu Gedung W UK Petra dan Gedung Apartemen The Square, dengan luas bidang dinding 6.940m² memberikan kontribusi

panas sangat besar. Sebagian besar area terekspos terhadap radiasi sehingga temperatur maksimal menjadi sangat tinggi.

Zona terdingin, yaitu ditunjukkan dengan temperatur maksimal, rata-rata dan minimal terendah terjadi pada zona lima. Walau pada zona lima terdapat area perkerasan luas hingga 65,51% sedang area hijau hanya 10,72% saja tetapi sebagian besar perkerasan berada dibawah naungan pohon yang tinggi dan besar, yang ditunjukkan dengan nilai GNPR sebesar 167,20. Tajuk pohon tersebut yang melindungi area ini dari panas radiasi matahari. Selain itu bangunan di zona lima merupakan bangunan 2-5 lantai dengan luas dinding hanya 1.372,50 m² sehingga kontribusi panas oleh dinding juga tidak besar.

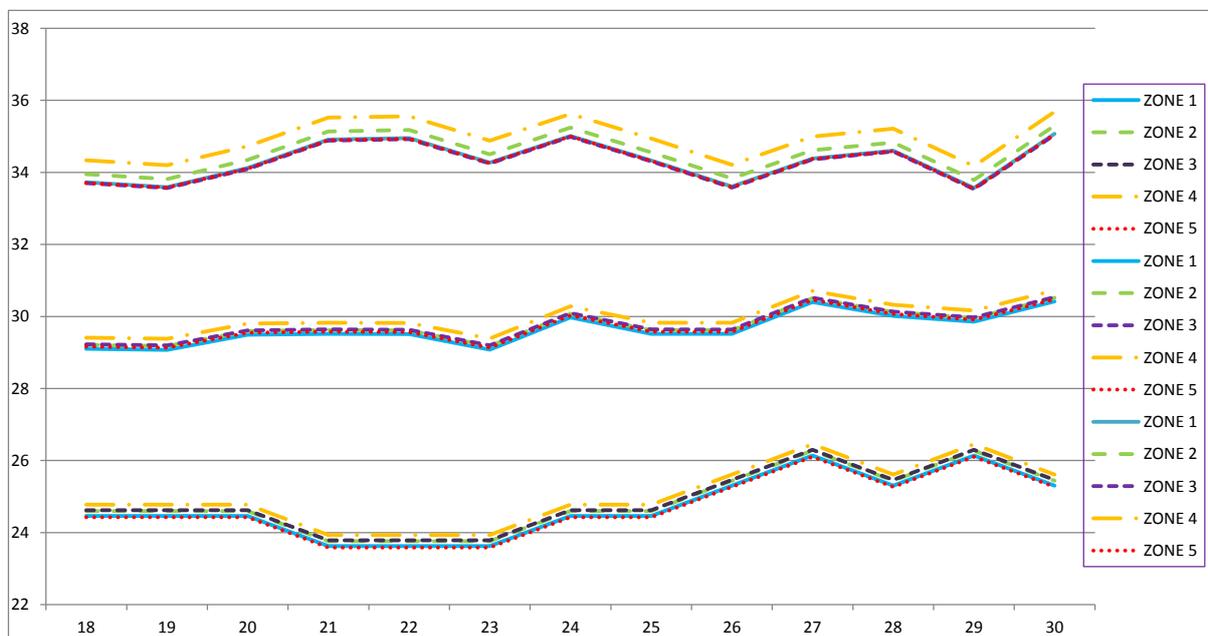
Pada zona satu, temperatur maksimal merupakan tertinggi ke-3, temperatur rata-rata merupakan tertinggi ke-2, sedang temperatur minimumnya adalah yang paling tinggi diantara kelima zona. Jadi profil temperature hasil pengukuran pada zona satu memperlihatkan bahwa dibanding dengan zona-zona lain, temperatur zona satu pada siang hingga sore hari tidak terlalu tinggi, namun menjadi cukup hangat pada saat dini sampai dengan pagi hari. Hal ini dimungkinkan karena zona satu mempunyai bidang dinding yang luas 6.399,50m² hampir sama dengan zona tiga, berarti memiliki bidang yang menyimpan panas cukup besar. Penutupan lahan pada zona satu terdiri atas perkerasan 31.57%, lebih kecil dibanding zona 3, sedang area hijau 26.74%, lebih luas dibanding zona 3. Akan tetapi GNPR zona satu hanya 54,51. Pada saat terjadi temperatur maksimal di siang hari, zona satu tidak sepanas zona tiga karena area hijau yang lebih luas dapat menyerap panas. Temperatur minimum di pagi hari pada zona satu menjadi paling tinggi karena reradiasi yang besar dari panas yang disimpan oleh bidang dinding yang luas.

Pada zona dua, temperatur maksimal merupakan tertinggi ke-2 melebihi zona satu, temperatur rata-rata di bawah zona satu, temperatur minimalnya justru terendah ke-2. Profil temperature di zona dua merupakan kebalikan dari zona satu. Dibandingkan dengan zona-zona lain, pada siang hingga sore hari temperatur zona dua menjadi lebih panas, sedang pada dini hingga pagi hari zona dua menjadi lebih dingin. Hal ini dimungkinkan karena pada zona dua area perkerasan hanya 21,41% merupakan yang paling kecil, sedang area hijau 30,50% merupakan yang paling luas. Area hijau berupa rumput sehingga GNPR tidak tinggi, hanya 35,79 saja. Luasan bidang dinding 4.041,40m² lebih rendah dari zona satu dan zona tiga. Dengan kondisi ini maka pada siang hingga sore hari panas tidak banyak terserap oleh tidak besar karena perkerasan dan bidang dinding tidak luas, sehingga tidak banyak panas yang tersimpan hingga pagi hari.

Zona empat merupakan zona terdingin kedua, temperatur maksimal cenderung mendekati posisi terendah, hampir serupa dengan zona lima. Temperatur rata-rata dan temperatur minimal zona empat berada diantara zona dua dan zona lima, bahkan temperatur rata-rata zona dua, empat dan lima sangat berhimpit. Karakter zona empat mirip dengan zona dua. Perkerasan pada zona empat 25,82%, sedikit lebih luas dibanding zona dua. Area hijau pada zona empat 26,02% dengan nilai GNPR 29,20, sedikit lebih kecil dibanding zona dua. Akan tetapi luas bidang dinding pada zona empat juga sedikit lebih kecil dibanding zona dua. Oleh karena itu, besarnya pemantulan panas, penyerapan dan penyimpanan panas oleh elemen tutupan lahan dan bangunan pada zona empat sangat mirip dengan zona dua.

4.3. Hasil Simulasi

Profil temperatur hasil simulasi pada lima zona adalah seperti yang terlihat pada gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4-3 Profil Temperatur Hasil Simulasi

Profil temperatur hasil simulasi temperatur tidak menunjukkan perbedaan temperatur antar zona sebesar hasil pengukuran lapangan. Fluktuasi temperatur dari hari ke hari pada semua zona terjadi sejajar. Hal ini dimungkinkan karena simulasi memperhitungkan temperatur berdasarkan model matematika, maka hasil akan sebanding dengan data masukannya. Profil temperature maksimal menunjukkan bahwa zona empat paling tinggi, kemudian zona dua, zona satu, tiga dan lima berhimpit. Profil temperatur rata-rata tertinggi

zona empat, kemudian zona tiga dan dua hampir berhimpit, dan temperature terendah terjadi pada zona lima yang terlihat hampir berhimpit dengan zona satu.

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh zona terpanas adalah pada zona empat, bukan zona tiga seperti hasil pengukuran lapangan. Sementara zona terdingin adalah zona lima, sama dengan hasil pengukuran. Karakter zona empat memang cenderung terbagi menjadi dua bagian yang sangat berbeda. Bagian yang pertama adalah titik pusat zona yang merupakan titik ukur pengukuran lapangan, berada pada area perkerasan yang tertutup oleh pohon-pohon tinggi, besar dan rimbun. Bagian yang lain, area dalam lingkaran zona empat meliputi: area disebelah utara adalah gedung 4 lantai, area di sebelah barat adalah bangunan tetangga, disebelah selatan adalah: Jalan Siwalankerto, halaman parkir ruko dan halaman kantor desa. Pada pengukuran lapangan, pengaruh terbesar adalah area di bagian pertama yang terdekat dengan alat ukurnya, sehingga zona empat merupakan zona terdingin kedua. Sedang pada simulasi area beradius 50m' meliputi area perkerasan yang cukup luas, yang diperhitungkan akan mempertinggi temperature zona empat sehingga menjadikannya zona terpanas.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Programs Steve Tools sebagai program yang membantu memperkirakan temperatur udara di ruang luar pada suatu area dapat digunakan secara lebih tepat jika:

- Prediksi iklim mikro urban lab, yaitu *temperature referent dan solar radiation* valid dan akurat, minimal dua digit dibelakang koma.
- Prediksi morfologi urban dalam radius 50 m relative homogen, yaitu tidak berupa kondisi yang kontras antara area titik ukur ditengah zona dalam radius yang kecil dibanding dengan kondisi perimeter tepi zona yang bersangkutan. Besar dan tinggi bangunan tidak terlalu ekstrim, yaitu bangunan kecil satu lantai bersanding dengan bangunan besar dan tinggi dalam satu zona, sehingga perhitungan rata-rata ketinggian dan lebar canyon dengan cara merata-rata menjadi kurang akurat.

Hasil pengukuran lapangan dan simulasi menunjukkan bahwa temperatur di ruang luar kawasan Kampus Pusat Universitas Kristen Petra hanya nyaman pada pagi hari disaat terjadi temperatur minimum, sementara menjelang siang hingga sore temperature selalu berada di atas temperature netral, yang berarti panas. Oleh sebab itu penggantian elemen tutupan lahan dan penempatan vegetasi tambahan disarankan untuk memperbaiki temperatur ruang luar kawasan ini.

Agar data untuk pengukuran temperature ruang luar pada kawasan kampus Universitas Kristen Petra di atas lebih valid perlu dilakukan pengukuran ulang dengan memperhatikan, keseragaman tutupan lahan dalam satu zona, keragaman morfologi antar zona.

DAFTAR PUSTAKA

- Emmanuel, 2005. *An Urban Approach to Climate-Sensitive Design Strategies For The Tropics*. Spon Press, NY.
- Jusuf Steve Kardinal dan Wong Nyuk Hien, 2009. *Development of Empirical Models for an Estate Level Air Temperature Prediction in Singapore*. Second International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands, Berkeley, USA, 21-23 September 2009.
- Knowles, 1977. *Energy and Form An Ecological Approach to Urban Growth*. The MIT Press, Cambridge.
- Robinette, 1973. *Energy Efficient Site Design*. Van Nostrand Reinhold Company, NY.
- Shuvo, 2008. *Green Plot ratio: Environmental planning of cities*. <http://www.thedailystar.net/>
- Widigdo & Kristanto, 2006. *Designing Area Along-side Urban Drainage Into Green Open Space And Water for Leisure*. Proceeding of Sustainable Environment and Architecture VII, 2006.