SIMULASI KESEIMBANGAN ENERGI PERMUKAAN DI JAKARTA DAN SEKITARNYA MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK MM5

SIMULATION OF SURFACE ENERGY BALANCE IN JAKARTA AND SURROUNDING AREAS USING MM5 NUMERICAL MODEL

Yopi Ilhamsyah[1,4*], Kurnia Endah Komalasari[2], Rima Novianti[3], Ahmad Bey[4], Rahmat Hidayat[5]

[1]Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh 23111

[2] Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa I No 2 Kemayoran, Jakarta Pusat, 10720

[3]Staf Perubahan Iklim dan Kualitas Udara BMKG, Jl. Angkasa I No 2 Kemayoran, Jakarta Pusat, 10720

[4,5]Program Studi Klimatologi Terapan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, 16680

**E-mail*: *y.ilhamsyah@gmail.com*

Naskah masuk: 24 April 2015; Naskah diperbaiki: 13 Desember 2015; Naskah diterima: 22 Desember 2015

ABSTRAK

Studi simulasi keseimbangan energi permukaan di Jakarta dan daerah sekitarnya menggunakan model numerik *Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model* (MM5) telah dilakukan. Empat domain dengan resolusi spasial 9 km yang menggambarkan daerah Jakarta dan sekitarnya disimulasikan selama 5 hari pada tanggal 04-08 Agustus 2004 untuk memperoleh hubungan radiasi dan keseimbangan energi di wilayah tersebut. Hasil menunjukkan bahwa keseimbangan energi lebih tinggi pada siang hari terjadi di perkotaan dibandingkan daerah lainnya. Sementara itu, komponen energi seperti fluks bahang terindera dan laten di permukaan masing-masing menunjukkan bahwa wilayah laut dan perkotaan lebih tinggi daripada daerah lainnya. Sebaliknya, fluks bahang tanah menunjukkan daerah rural di bagian timur Jakarta lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya. Secara umum, keseimbangan radiasi dan energi pada siang hari lebih tinggi daripada malam hari di seluruh daerah. Rasio Bowen di wilayah kota yang mencerminkan kawasan bangunan dan perkotaan lebih tinggi daripada di daerah rural yang didominasi oleh lahan pertanian beririgasi. Hal ini sesuai dengan perubahan sifat fisik tutupan lahan seperti albedo, kelembaban tanah dan karakteristik bahang.

Kata kunci: komponen energi, perkotaan, rural, suburban.

ABSTRACT

A study of surface energy balance simulation in Jakarta and surrounding areas by using Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5) numerical model was done. Four domains that presented the outermost and the innermost of Jakarta and surrounding areaswere utilized. All domains have spatial resolutions of 9 km. Model was simulated for 5 days on August 4-8, 2004. The relation of radiation and energy balance at the surface were derived from model output. The result showed that energy balance was higher in the city during daytime. Meanwhile, energy component, i.e., surface sensible and latent heat flux showed that sea and city were higher than others, respectively. Moreover, ground flux showed eastern rural areawas higher than others. In general, radiation and energy balance was higher during daytime and lower in the nighttime for all areas. The calculation of Bowen ratio was also higher in the city that reflected the urban and built-upland. Meanwhile, Bowen ratio in the rural area dominated by irrigated cropland was lower than city. It is consistent with changes of land cover properties, i.e., albedo, soil moisture, and thermal characteristics.

Keywords: *Energy component, city, rural, suburban.*

1. Pendahuluan

Proses pembentukan cuaca dan iklim di Bumi ditentukan oleh jumlah dan distribusi radiasi yang datang dari matahari. Dalam keadaan setimbang, secara global rata-rata gelombang panjang radiasi keluar selalu seimbang dengan radiasi matahari datang yang diserap. Energi radiasi yang datang dapat tersebar dan dipantulkan kembali oleh awan dan aerosol (debu dan polusi) atau diserap oleh atmosfer. Radiasi yang ditransmisikan kemudian dapat diserap atau dipantulkan oleh permukaan bumi. Energi radiasi

matahari (gelombang pendek) diubah menjadi bahang terindera (terkait dengan suhu), energi laten (melibatkan wujud air yang berbeda), energi potensial (melibatkan gravitasi dan ketinggian) dan energi kinetik (melibatkan gerak) sebelum dipancarkan sebagai energi gelombang panjang inframerah. Energi tersebut tersimpan dan dapat mengalami perubahan serta konversi energi dalam berbagai bentuk sehingga menimbulkan beragam cuaca atau fenomena turbulensi di atmosfer dan lautan. Selain itu, keseimbangan energi juga berpengaruh terhadap perubahan iklim dan cuaca terkait[1].

Karakteristik fisik udara dan daratan pada antar-muka atmosfer dan biosfer diatur oleh kontribusi radiasi gelombang pendek yang datang dan radiasi gelombang panjang yang keluar. Intensitas radiasi matahari yang datang pada puncak atmosfer dan transmisinya melalui atmosfer menentukan radiasi gelombang pendek yang mencapai permukaan. Bagian dari radiasi gelombang pendek yang datang ini dipantulkan ke atas oleh permukaan. Radiasi gelombang pendek yang keluar tergantung pada sifat pantulan dari permukaan yang dicirikan oleh albedo. Albedo didefinisikan sebagai fraksi radiasi ke bawah di permukaan yang dipantulkan. Nilai albedo ini bervariasi tergantung pada karakteristik fisik permukaan. Selain itu, permukaan menerima panjang gelombang yang lebih panjang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca. Radiasi ini dikenal dengan radiasi gelombang panjang yang datang. Permukaan Bumi memancarkan kembali ke atmosfer bagian dari radiasi gelombang panjang ini yang selanjutnya dikenal dengan radiasi gelombang panjang keluar. Emisi ini tergantung pada suhu permukaan dan emisivitas permukaan dan mengikuti hukum Stefan-Boltzman. Dengan menjumlahkan radiasi gelombang pendek yang datang dan gelombang panjang yang keluar maka dapat diperoleh keseimbangan radiasi dipermukaan. Sementara itu, kekekalan energi pada antar-muka daratan dan atmosfer membentuk hubungan antara radiasi bersih dan fluks turbulensi. Hubungan ini selanjutnya dikenal dengan keseimbangan radiasi energi di permukaan.

Jakarta dan daerah sekitarnya meliputi Depok, Tangerang dan Bekasi termasuk daerah yang memiliki perbedaan energi permukaan yang dapat mengakibatkan variasi cuaca. Sofyan et al[2], Tokairin *et al*[3] dan Ilhamsyah[4] menemukan bahwa cuaca dapat bervariasi antara wilayah utara dan selatan serta barat dan timur. Untuk wilayah utara dan selatan meliputi daerah laut Jawa hingga pantai utara Jakarta, dataran rendah Jakarta, serta kawasan perbukitan di Depok dan Bogor. Sementara itu, untuk wilayah barat dan timur meliputi kawasan suburban dan industri di Tangerang dan kawasan perumahan serta sentra pertanian/perikanan di Bekasi.Wilayah barat dan timur memiliki topografi relatif datar dibandingkan dengan wilayah utara dan selatan. Dengan demikian, kondisi ini mengakibatkan terbentuknya perbedaan energi permukaan di laut Jawa, wilayah perkotaan Jakarta, kawasan industri di Tangerang, kawasan perumahan serta pertanian di Bekasi, keberadaan situ di Depok dan kawasan perbukitan dengan sentra pertanian, perkebunan, perikanan dan kehutanan di Bogor.

Penelitian mengenai keseimbangan energi di permukaan umumnya dilakukan secara teoritik dikombinasikan dengan ketersediaan data meteorologi di lapangan atau satelit seperti pengembangan sistem keseimbangan energi di permukaan dengan menggunakan kombinasi data satelit dan informasi peubah meteorologi[5]. Demikian juga dengan Xin dan Liu [6] yang menggunakan teknik penginderaan jauh untuk menaksir fluks bahang permukaan. Pengukuran keseimbangan energi secara langsung dilapangan juga dapat dilakukan seperti yang dilakukan oleh Rouse *et al.*[7]. Akan tetapi penelitian seperti ini tentunya membutuhkan biaya yang cukup besar. Hal ini terkait dengan kebutuhan akan instrumentasi pengukuran di lapangan termasuk sarana pendukung, kalibrasi dan biaya perawatan perlengkapan penelitian serta akomodasi dan upah buruh yang harus dikeluarkan dalam satu periode penelitian.

Oleh karena itu, untuk mengatasi kendala ini perlu adanya suatu model yang mampu memberikan deskripsi mengenai keseimbangan energi pada suatu wilayah kajian. *Model numerik Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model* (MM5) dapat digunakan untuk menjawab tantangan ini. Model MM5 dikembangkan oleh Dudhia[8], walaupun model ini diciptakan untuk mengkaji kondisi cuaca berskala meso akan tetapi keluaran resolusi spasialnya dapat diatur hingga mencapai 1-2 km seperti yang dilakukan oleh Aquilina *et al*[9], Dagestad *et al*[10] dan Sindosi *et al*[11]. Selain itu, model ini sebagaimana tujuan awal penciptaannya adalah model dinamik yang dapat digunakan untuk keperluan prediksi cuaca termasuk keseimbangan energi pada daerah kajian. Penelitian mengenai keseimbangan energi menggunakan model MM5 telah dilakukan diantaranya oleh Oncley dan Dudhi[12] dan Grossman-Clarke *et al*[13].

Oleh karena itu, dengan mengacu pada keberhasilan model MM5 untuk mengestimasi keseimbangan energi permukaan di berbagai wilayah maka penulis bermaksud untuk mengkaji keseimbangan energi terutama terkait dengan perhitungan keseimbangan radiasi dan energi permukaan di Jakarta dan sekitarnya menggunakan model numerik MM5.

2.Metode Penelitian

Desain Eksperimen Numerik. Studi ini menggunakan model numerik MM5. Model MM5 adalah model non-hidrostatik berkoordinat tekanan sigma yang mengintegrasikan profil daratan ke dalam model. Terdapat 4 domain yang menggambarkan bagian terluar dan terdalam dari Jakarta dan daerah sekitarnya sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. Grid horisontal berjumlah 31 x 31 digunakan pada seluruh domain model. Bagian terdalam domain terkait dengan domain 1 dan 2 mencakup wilayah Jakarta dan sekitarnya. Domain 3 dan 4 menggunakan resolusi spasial (Δx dan Δy) 9 km. Selanjutnya, untuk domain terluar yang digambarkan melalui domain 1 dan 2 meliputi hampir seluruh wilayah Jawa Barat dan barat daya laut Jawa.

Resolusi spasial (Δx dan Δy) bernilai 9 km diaplikasikan pada domain 1 dan 2. Selain itu, 35 level tekanan berkisar antara 1000 – 100 hPa termasuk 15 level vertikal dengan resolusi tinggi juga digunakan pada model. Disamping grid horisontal dan vertikal, model ini juga menggunakan beberapa parameter fisika berikut:

1. Skema *Medium range forecast planetary boundary layer* (MRF PBL). Skema ini dipilih untuk memperoleh perhitungan fluks bahang permukaan yang lebih baik. Skema MRF PBL juga digunakan pada studi model MM5 yang dilakukan oleh Durante *et al*[14], Deng *et al*[15], and Ruiz-Arias *et al*[16].
2. Skema *Grell Cumulus* disertakan pada domain 1 dan 2.
3. Skema radiasi atmosfir awan.

Selanjutnya, beberapa kondisi batas awal yang digunakan di dalam model adalah sebagai berikut:

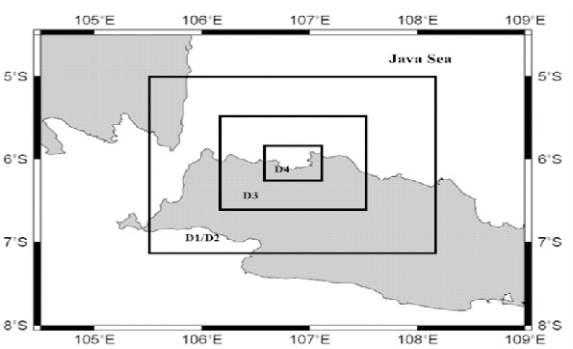
1. Data topografi USGS 30 detik (0,925 km),
2. data tutupan/penggunaan lahan USGS 24 kategori global 30 detik (0,925 km),
3. data tutupan/penggunaan lahan USGS 24 kategori global 30 detik (0,925 km) termodifikasi,
4. data ECMWF dengan resolusi spasial 0.5˚x0.5˚.

Data tutupan lahan. Sebagaimana dijelaskan di atas, data tutupan/penggunaan lahan USGS 24 kategori (selanjutnya disebut dengan data tutupan lahan keluaran standar) digunakan dalam simulasi model. Akan tetapi, data tersebut tidak mewakili gambaran sesungguhnya mengenai kondisi lahan di Jakarta sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2a. Ketidakakurasian data tutupan lahan keluaran standar juga telah diidentifikasi oleh beberapa studi seperti Brazel *et al*[17], Grossman-Clarke *et al*[13], [18]. Mereka berinisiasi untuk memperbaiki data penggunaan lahan keluaran standar sebelum menjalankan model tersebut. Ketidakakurasian data penggunaan lahan keluaran standar mungkin disebabkan oleh kurangnya adaptasi dari data tutupan/penggunaan lahan USGS 24 kategori terhadap model MM5 terbaru yang telah direvisi. Data tutupan/penggunaan lahan USGS 24 kategori yang digunakan dalam model MM5 adalah data lama yang dihasilkan pada tahun 1976.

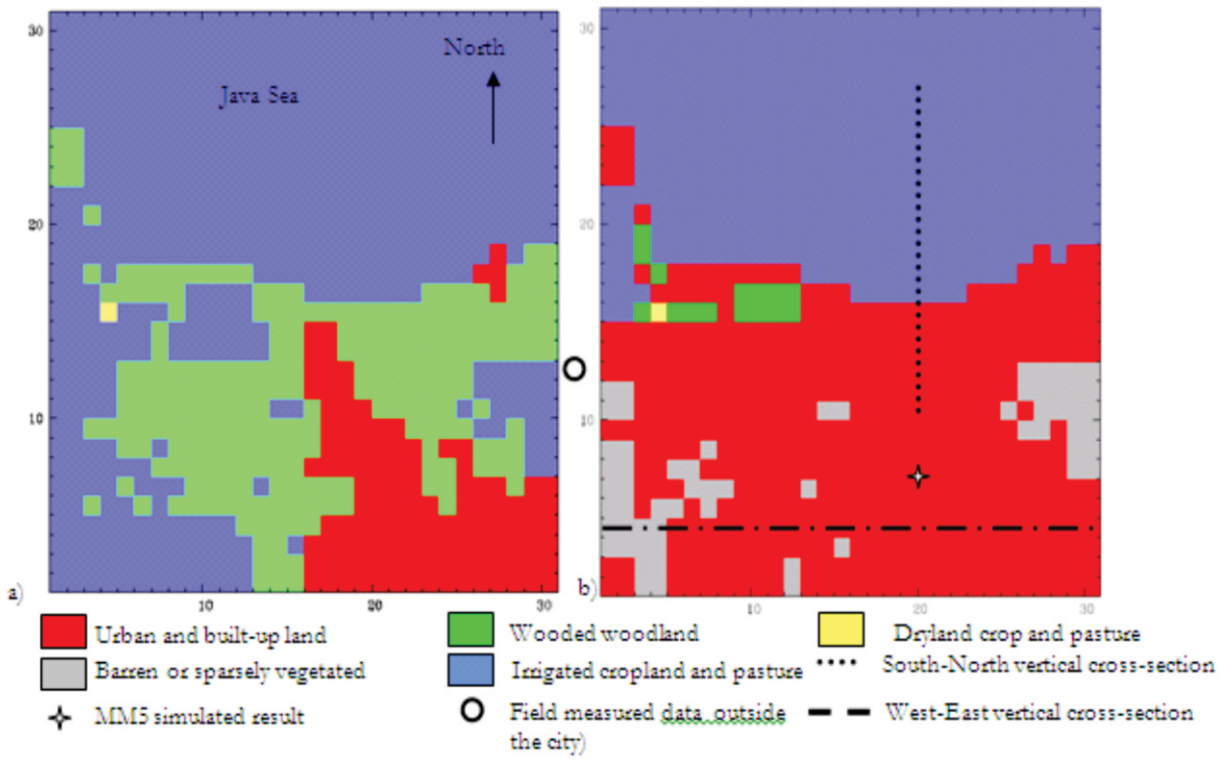
Pada gambar 2a terlihat bahwa tutupan lahan di Jakarta Pusat khususnya didominasi oleh lahan pertanian/rerumputan sementara di bagian barat dan timur dicirikan oleh lahan pertanian beririgasi dan padang rumput serta sejumlah kecil kawasan perkotaan yang terpusat di tenggara. Data tersebut hampir menyerupai kondisi Jakarta pada tahun 1960. Oleh karena itu, data tutupan lahan keluaran standar dibutuhkan untuk memodifikasi pertumbuhan daerah perkotaan di Jakarta. Selanjutnya, berdasarkan informasi spasial geografi oleh Google Earth yang dihubungkan dengan informasi tutupan lahan keluaran standar maka beberapa skenario berikut dibutuhkan untuk memodifikasi data tutupan lahan keluaran standar:

1. Menggantikan lahan pertanian/hutan menjadi lahan perkotaan dan bangunan,
2. menggantikan lahan pertanian beririgasi dan padang rumput yang mendominasi daerah pesisir menjadi masing-masing hutan rawa dan daerah bervegetasi jarang pada kawasan perkotaan tertentu sehingga menggambarkan taman kota dan lapangan di Jakarta Pusat dan sekitarnya.

Dengan demikian, daerah perkotaan aktual dan informasi tutupan lahan lainnya di Jakarta dapat didekati dengan baik. Akibatnya, domain 4 dalam model ini telah secara menyeluruh berubah melalui penyesuaian daerah perkotaan di hampir seluruh permukaan topografi seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2b. Sementara itu, improvisasi tutupan lahan juga telah diaplikasikan pada domain 2 dan 3.



Gambar 1. Domain model MM5



Gambar 2. Model tutupan lahan MM5 untuk domain 4, a) tutupan lahan USGS 24 kategori keluaran standar, b) versi termodifikasi

Gambar 2b menunjukkan pertumbuhan perkotaan terkini di kota Jakarta dimana kawasan perkotaan telah terdistribusi secara dominan pada domain. Karena tutupan lahan telah berubah maka akan berdampak terhadap perubahan sifat tanah, yaitu albedo, kelembaban tanah, termal dan kekasaran permukaan. Oleh karena itu, kedua data tutupan lahan keluaran standar dan modifikasi perlu diuji. Strategi untuk melakukannya adalah sebagai berikut:

1. Menjalankan model MM5 dengan data tutupan lahan keluaran standar.
2. Menerapkan data tutupan lahan termodifikasi Jakarta dan sekitarnya ke dalam syarat batas awal dan kembali menjalankan model MM5.
3. Visualisasi dan evaluasi hasil dari kedua model melalui verifikasi dengan data observasi lapangan yang tercatat di stasiun cuaca tertentu.
4. Menentukan model yang digunakan untuk mengkaji keseimbangan radiasi dan energi.

Simulasi dilakukan selama 5 hari pada tanggal 04-08 Agustus 2004 selama musim kering. Musim ini dipilih untuk melihat seberapa tinggi variasi diurnal suhu selama periode ini karena hanya terdapat sedikit curah hujan pada musim ini. Singkatnya waktu simulasi selama 3 hari dalam periode musim kemarau juga dilakukan oleh Chang *et al*[19].

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3, 4, 5 dan 6 menunjukkan radiasi gelombang pendek dan panjang yang datang dan keluar di permukaan. Secara umum, untuk menghitung besar radiasi netto yang datang dan keluar di permukaan Bumi adalah dengan menggunakan hubungan partisi radiasi gelombang pendek dan panjang berikut:

$$R_n = S\downarrow + S\uparrow + L\downarrow + L\uparrow \quad (1)$$

Dimana:
R_n=Radiasi netto di permukaan
$S\downarrow$=Radiasi gelombang pendek yang datang
$S\uparrow$=Radiasi gelombang pendek yang keluar
$L\downarrow$=Radiasi gelombang panjang yang datang
$L\uparrow$=Radiasi gelombang panjang yang keluar.

Radiasi gelombang pendek yang datang di permukaan ditunjukkan pada gambar 3. Seluruh radiasi yang datang pada siang hari pada permukaan di Jakarta dan sekitarnya menerima jumlah energi yang sama. Pada tanggal 05 dan 06 Agustus 2004, energi maksimum pada siang hari mencapai 950 Wm^{-2} di seluruh permukaan tutupan lahan di Jakarta dan sekitarnya. Pada tanggal 08 Agustus 2004, jumlah energi yang diterima di Jakarta sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya yaitu sebesar 950 Wm^{-2}. Perbedaan jumlah energi yang diterima di permukaan dapat ditentukan oleh kondisi cuaca setempat yang dipengaruhi tutupan awan atau faktor cuaca lainnya

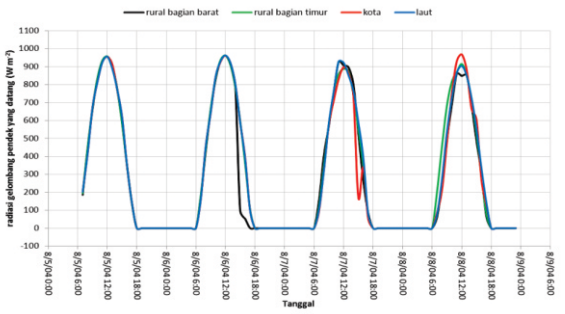
yang dapat menyerap sekaligus mengurangi jumlah energi yang diterima di permukaan.

Radiasi gelombang pendek yang keluar dari permukaan ditunjukkan pada gambar 4. Radiasi tertinggi terjadi di lautan. Sementara itu, radiasi gelombang pendek yang keluar dari daerah rural di bagian timur lebih tinggi dibandingkan dengan daerah kota dan daerah rural di bagian barat. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik fisik tutupan lahan seperti albedo dan emisivitas.

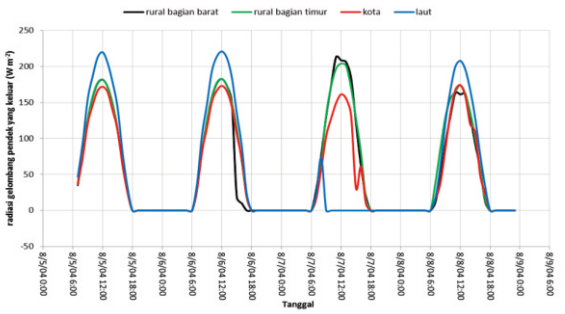
Daerah kota dengan material bangunan berupa aspal, beton lebih banyak menyerap bahang sehingga hanya sedikit bahang yang kembali dipantulkan kembali ke atmosfer. Demikian juga untuk daerah rural di bagian barat. Kondisi berbeda terjadi pada daerah rural di bagian timur di mana masih didominasi oleh lahan pertanian, vegetasi serta permukaan air sehingga jumlah radiasi yang dipantulkan kembali ke atmosfer lebih tinggi. Hal ini dikarenakan oleh albedo untuk daerah dengan karakteristik tutupan lahan seperti ini mencapai 15-25%. Sementara itu, untuk tutupan lahan yang didominasi oleh bangunan, aspal dan taman memiliki albedo sebesar 5-15% dan lautan sebesar 5-80%. Kondisi ini menjadikan radiasi gelombang pendek yang keluar dari wilayah laut juga menjadi tinggi.

Radiasi gelombang panjang yang masuk dan keluar masing-masing ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.

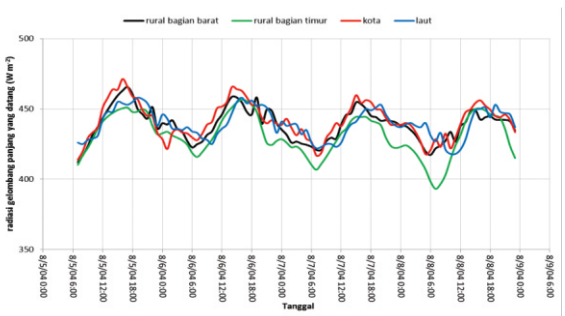
Pada gambar 5, energi radiasi gelombang panjang yang datang lebih tinggi pada siang hari di kota dan daerah rural di bagian barat mencapai 460 Wm^{-2} dibandingkan dengan daerah rural di timur yang menerima energi sebesar 450 Wm^{-2}. Pada tanggal 07 Agustus 2004 jumlah energinya bahkan kurang dari 450 Wm^{-2}.Daerah rural di bagian timur ini juga memiliki variasi diurnal yang cukup signifikan. Hal ini terlihat pada tanggal 07 dan 08 Agustus 2004. Kondisi ini disebabkan oleh tidak adanya energi yang tersimpan di tutupan lahan yang dapat kembali diradiasikan ke atmosfer pada malam hari. Kondisi berbeda teramati pada daerah rural di bagian barat, kota dan juga lautan dimana material bangunan berfungsi sebagai penyimpan sekaligus pemancar radiasi terutama di malam hari. Hal yang sama juga berlaku di lautan. Radiasi gelombang panjang yang keluar berasal dari energi yang dipancarkan dari permukaan Bumi. Untuk wilayah kota radiasi gelombang panjang keluar lebih rendah dibandingkan dengan dua daerah rural lainnya. Sementara itu, daerah rural di bagian barat memiliki radiasi gelombang panjang yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah rural di timur. Radiasi yang keluar ini selanjutnya diserap oleh gas-gas rumah kaca di atmosfer dan kembali diradiasikan dalam bentuk gelombang panjang ke permukaan Bumi. Kondisi ini yang menjadikan suhu permukaan Bumi menjadi lebih hangat seperti ditunjukkan pada gambar 6.



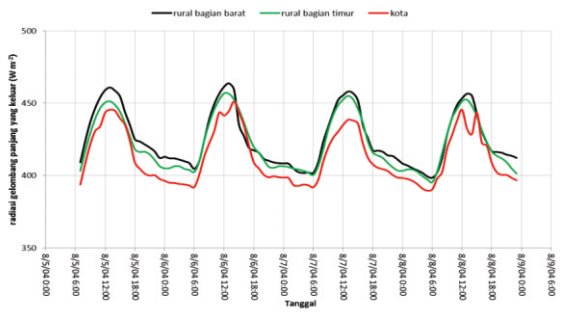
Gambar 3. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi radiasi gelombang pendek yang datang pada permukaan (Wm^{-2}) di wilayah Jakarta dan sekitarnya.



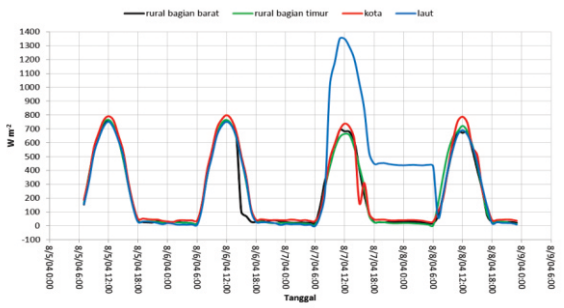
Gambar 4. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi radiasi gelombang pendek yang keluar pada permukaan (Wm^{-2}) di wilayah Jakarta dan sekitarnya.



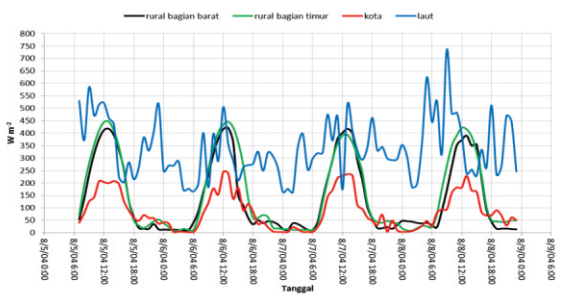
Gambar 5. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi radiasi gelombang panjang yang datang pada permukaan (Wm^{-2}) di wilayah Jakarta dan sekitarnya.



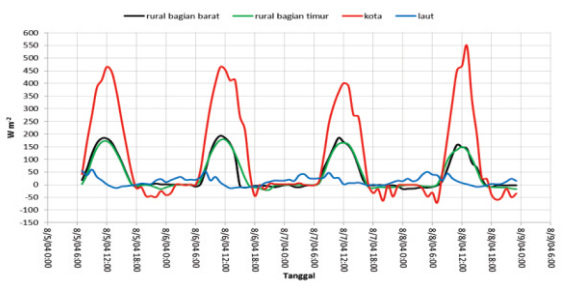
Gambar 6. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi radiasi gelombang panjang yang keluar pada permukaan (Wm^{-2}) di wilayah Jakarta dan sekitarnya.



Gambar 7. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi keseimbangan energi di permukaan (Wm^{-2}) pada wilayah Jakarta dan sekitarnya.



Gambar 8. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi bahang terindera di permukaan (Wm^{-2}) pada wilayah Jakarta dan sekitarnya.



Gambar 9. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi bahang laten di permukaan (Wm^{-2}) pada wilayah Jakarta dan sekitarnya.

Gambar 7 menunjukkan keseimbangan energi yang diperoleh dari model tutupan lahan termodifikasi MM5 dan bagaimana energi dialokasikan pada daerah yang berbeda-beda. Keseimbangan energi secara sederhana ditulis dengan persamaan berikut:

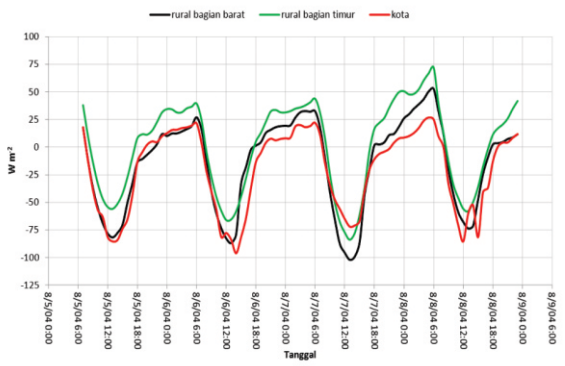
$$R_n = H + L_v E + G \qquad (2)$$

Dimana:

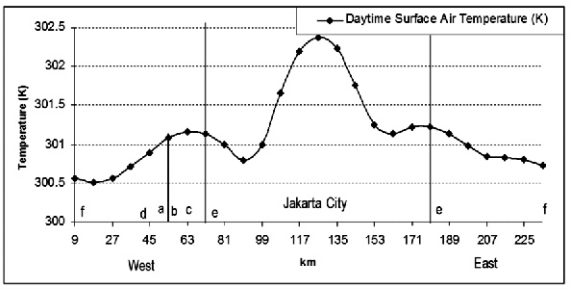
R_n = Radiasi netto (Wm^{-2}).
L_vE = fluks bahang laten (Wm^{-2}), fluks ini berfungsi untuk melakukan proses pendinginan permukaan Bumi karena evaporasi.
H = Fluks bahang terindera (Wm^{-2})
G = Fluks bahang tanah (Wm^{-2}).

Dari gambar 7 ditunjukkan bahwa keseimbangan energi lebih tinggi di kota selama siang hari. Radiasi netto maksimum masing-masing bernilai 800 Wm^{-2} dan 780 Wm^{-2} dijumpai di siang hari pada tanggal 06 dan 07 Agustus 2004. Anomali terdapat pada keseimbangan energi di wilayah laut pada tanggal 07 agustus 2005 jam 08.00 WIB hingga 08 agustus 2004 pada jam 06.00 WIB, namun sejauh ini penulis belum mengetahui dengan jelas faktor apa yang menyebabkan anomali ini. Penulis berpendapat ini merupakan murni kesalahan model, seharusnya nilai keseimbangan energi di lautan berfluktuasi konsisten sebagaimana ditunjukkan pada hari-hari sebelumnya. Kondisi ini dapat dijelaskan bahwa karena dengan sedikitnya energi yang hilang maka sejumlah energi didistribusikan menjadi bahang terindera dan mengakibatkan lebih banyak bahang yang ditransfer ke udara. Sebaliknya, daerah rural di bagian barat dan timur karena transfer bahang terindera maka energi lebih banyak dialokasikan untuk menguapkan air dari tanaman dan tanah. Pada malam hari, di samping fluks bahang terindera bernilai negatif dan sedikitnya penguapan sehingga menjadikan fluks bahang tanah secara dominan berperan dalam transfer bahang ke atas menuju permukaan dan tetap menjaga keseimbangan energi di kota, daerah rural di barat dan timur serta lautan seperti ditunjukkan pada gambar 8, 9 dan 10.

Sebagai kesimpulan, keseimbangan energi dalam jumlah besar biasanya ditemukan di daerah tropis selama musim kemarau. Sebaiknya, keseimbangan energi yang diperoleh melalui model perlu diuji dengan data observasi lapangan yang tidak tersedia dalam studi ini.



Gambar 10. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi bahang tanah (Wm^{-2}) untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya.

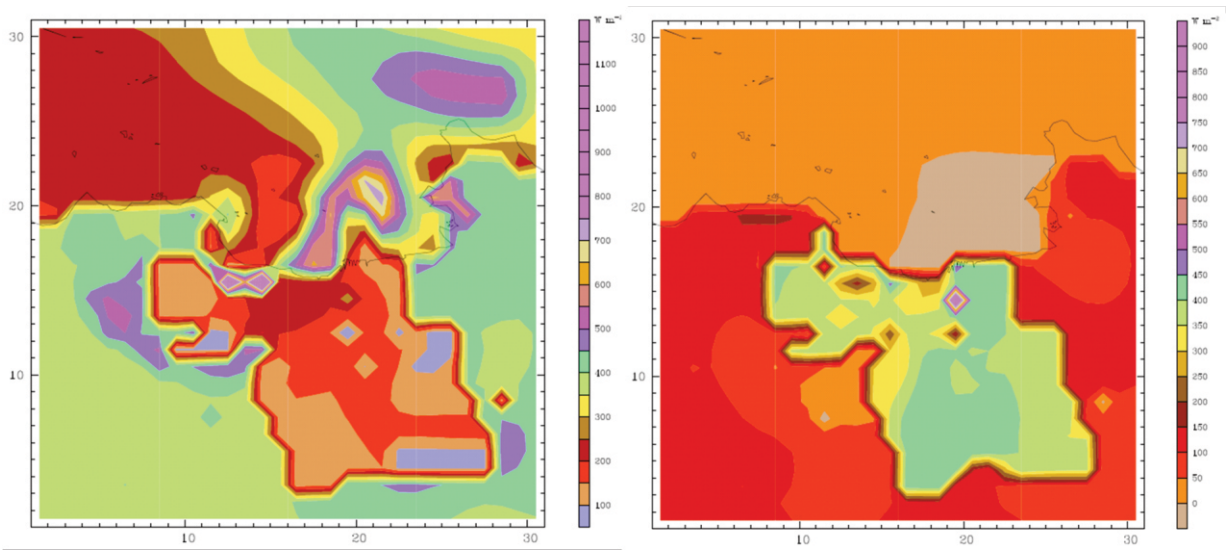


Gambar 12. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 dari domain 3 untuk penampang lintang barat-timur dari suhu permukaan simulasi (K) pada jam 15.00 WIB pada tanggal 06 Agustus 2004. a) Stasiun cuaca. b) Bandara Internasional Soekarno-Hatta. c) Kawasan Industri. d) Jalan raya lintas sumatra e) daerah suburban. f) daerah rural.

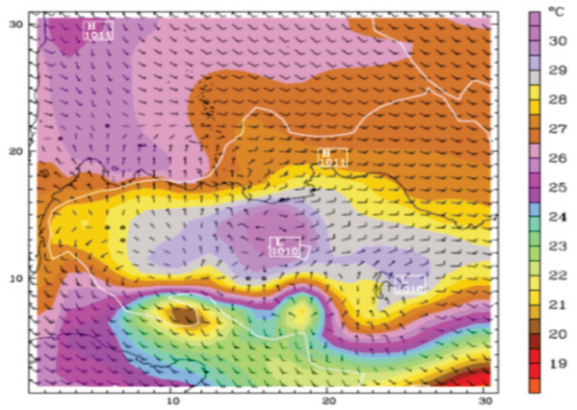
Gambar 11a menunjukkan bahwa fluks bahang terindera permukaan lebih tinggi di kota dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Bahang terindera positif berkisar antara 350-500 Wm^{-2} terjadi di seluruh kota. Hal ini menunjukkan bahwa fluks bahang terindera tinggi dapat menggambarkan suhu permukaan yang lebih tinggi. Selain itu, bahang terindera yang teramati di perkotaan dan wilayah laut menunjukkan perbedaan yang jauh lebih tinggi yang merupakan penggerak utama sirkulasi angin laut.

Selain itu, gambar 11b menunjukkan simulasi fluks bahang laten permukaan. Seperti telah disebutkan bahwa bahang laten jauh lebih tinggi di laut mencapai 550 Wm^{-2} di bagian timur laut dan lebih rendah di barat laut mencapai 250 Wm^{-2}. Hal ini disebabkan karena sebagian besar bahang laten yang dilepaskan saat pembentukan hujan dipertukarkan dengan bahang terindera sehingga menyebabkan suhu yang lebih tinggi terjadi di bagian barat laut dari laut Jawa.

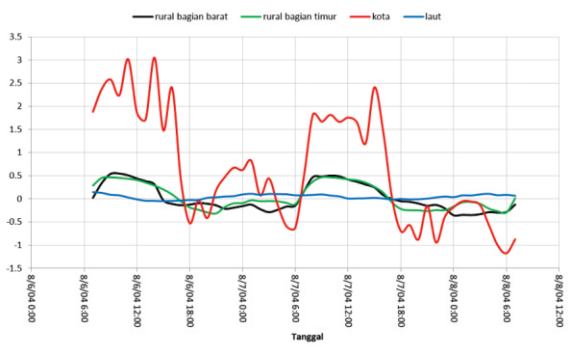
Sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 11b bahwa suhu yang lebih tinggi kemudian bergerak menuju kota dan meningkatkan suhu permukaan kota. Selain itu, bahang laten di wilayah pertanian juga lebih tinggi. Energi sebesar 450 Wm^{-2} dialokasikan di wilayah timur dan tenggara karena kebun teh dan pertanian lainnya dibudidayakan di sana. Sementara itu, energi sebesar 550 Wm^{-2} didistribusikan di daerah rural yang berbatasan dengan kota di bagian barat karena hanya tanaman dengan pertumbuhan yang baik ditanam saat musim kemarau.



Gambar 11. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 dari domain 3 untuk simulasi a) fluks bahang laten (Wm^{-2}) dan b) fluks bahang terindera (Wm^{-2}) masing-masing pada jam 14.00 dan 15.00 WIB pada tanggal 08 Agustus 2004 di wilayah Jakarta dan sekitarnya



Gambar 13. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 dari domain 3 untuk pola spasial lokasi pulau panas perkotaan diamati melalui suhu permukaan (°C) di Jakarta tanggal 06 Agustus 2004 jam 15.00 WIB.



Gambar 14. Model tutupan lahan termodifikasi MM5 untuk simulasi rasio Bowen untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya.

Dari gambar 11a dan 11b terlihat bahwa perbedaan tinggi fluks bahang laten dan terindera permukaan terjadi antara wilayah kota dan wilayah barat. Dengandemikian, kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya gradien horisontal yang besar. Akibatnya, panas kota akan bersirkulasi ke barat dan secara perlahan meningkatkan suhu setempat dan menciptakan pengaruh yang kuat terhadap terbentuknya pulau panas perkotaan (*urban heat island*) pada malam hari seperti terlihat pada gambar 12 dan 13.

Lahan pertanian beririgasi dan padang rumput pada gambar 14 yang berada pada ke dua daerah rural bagian barat dan timur menunjukkan bahwa pada pagi hingga siang hari dari jam 07.00 – 13.00 WIB, rasio Bowen yang didefinisikan sebagai perbandingan antara bahang terindera dan bahang laten berkisar antara 0,2-0,5 yang biasanya merupakan nilai rasio Bowen untuk tanaman beririgasi dan padang rumput, bahang terindera positif dan bahang laten memiliki sedikit perbedaan meskipun bahang laten lebih dominan di daerah rural.

Sementara itu setelah jam 15.00 WIB dan malam hari nilai rasio Bowen jauh lebih rendah di mana kurang dari 0. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada sore hari dan pada malam hari, bahang terindera negatif terbentuk karena permukaan lebih dingin dibandingkan udara di atas dan bahang laten lebih tinggi untuk melakukan pendinginan radiasi pada malam hari sehingga dapat menghasilkan nilai rasio Bowen negatif. Selain itu, rasio Bowen yang teramati di lautan lebih tinggi di pagi hari dan lebih rendah di sore hari, dan pada malam hari rasio Bowen meningkat dan mencapai 0,1 pada dini hari.

Karena perbedaan yang jauh lebih tinggi teramati antara bahang terindera dan laten, sehingga fraksi kedua variabel dapat mengakibatkan jumlah rasio Bowen yang kecil. Namun, di laut, fluks bahang positif terindera yang terjadi di malam hari menggambarkan bahang yang tersimpan (bahang terindera negatif) pada siang hari dan transfer bahang laten lebih tinggi terjadi dari waktu ke waktu.

Menariknya, rasio Bowen di kota selama siang hari berfluktuasi antara 1,5 – 3,0 dan kemudian turun drastis menjadi -0,5 di sore hari. Fluktuasi rasio Bowen masih teramati pada malam hari hingga mencapai 0,75 pada dini hari dan mulai menurun secara bertahap setelah itu. Penurunan nilai rasio Bowen di sore hari dan awal malam disebabkan oleh bahang terindera negatif. Namun, sebagai akibat dari efek pulau panas perkotaan, bahang terindera positif kembali terbentuk dan mengakibatkan peningkatan rasio Bowen pada malam hari seperti teramati pada tanggal 06 Agustus 2008. Namun, pada malam berikutnya, bahang terindera negatif mengakibatkan kehilangan sedikit bahang karena terjadinya penguapan. Kondisi ini mengakibatkan nilai rasio Bowen yang kecil.

4. Kesimpulan

Secara umum, model MM5 dengan resolusi spasial 9 km dapat mensimulasikan keseimbangan energi yang cukup baik. Radiasi gelombang pendek dan panjang yang datang dan keluar menunjukkan variasi jumlah energi untuk setiap daerah. Untuk radiasi gelombang pendek yang keluar, besar energi tergantung dari albedo dan emisivitas permukaan tutupan lahan. Keseimbangan energi yang menyatakan penambahan dan kehilangan bahang karena bahang terindera, bahang laten dan tanah dapat dengan baik dijelaskan dalam studi ini. Selama siang dan malam hari pada tanggal 06 Agustus 2004, hilangnya bahang di kota dikarenakan oleh fluks bahang terindera positif yang lebih tinggi terjadi di kota.

Rasio Bowen yang mewakili karakteristik tutupan lahan dapat disimulasikan dengan baik. Rasio Bowen 0,1; 0.2; 0,5; dan 3,0 masing-masing pada wilayah laut,

lahan pertanian beririgasi, padang rumput dan perkotaan dan bangunan dapat teramati dengan baik meskipun fluktuasi terjadi pada siang dan malam hari. Kondisi ini disebabkan oleh suhu udara dan karakteristik tutupan lahan, misalnya albedo, kelembaban tanah, emisivitas, kekasaran permukaan dan inersia termal. Namun demikian, untuk memperoleh hasil yang lebih baik kiranya perlu diupayakan penggunaan model dengan resolusi hingga 1 km sehingga lebih dapat mendekati definisi dari iklim mikro sesungguhnya

Daftar Pustaka

[1] Geiger, R. 1950. The climate near the ground.Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.

[2] Sofyan, A., T. Kitada, G. Kurata. 2007. Difference of sea breeze in Jakarta between dry and wet Seasons:implication in NO2 and SO2 distributions in Jakarta. Journal of Global Environment Engineering,12: 63-85.

[3] Tokairin, T., A. Sofyan, T. Kitada.Numerical study on temperature variation in the Jakarta area due to urbanization.Proceedings of The seventh International Conference on Urban Climate.Yokohama, Japan 29 Juni - 3 Juli 2009.

[4] Ilhamsyah, Y. 2012.A Mesoscale meteorological model of modified land cover to the effect of urban heat island in Jakarta. Aceh International Journal of Sciences and Technology, 1(2): 60-66.

[5] Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Sciences, 6(1): 85-99.

[6] Xin, X., Q. Liu. 2010. The Two-layer Surface Energy Balance Parameterization Scheme (TSEBPS) for estimation of land surface heat fluxes. Hydrology and Earth System Sciences, 14: 491-504.

[7] Rouse, W.R., C. M. Oswald, J. Binyamin, P.D. Blanken, W.M. Schertzer, C. Spence. 2003. Interannual and seasonal variability of the surface energy balance and temperature of central great slave lake. Journal of hydrometeorology, 4: 720-730.

[8] Dudhia, J., 1993. A non-hydrostatic version of the Penn State – NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an atlantic cyclone and cold front. Monthly Weather Review, 121: 1493-1513.

[9] Aquilina, N., A.V. Dudek, A. Carvalho, C. Borrego, T.E. Nordeng. 2005. MM5 high resolution simulations over Lisbon. Geophysical Research Abstracts, 7.

[10]Dagestad, K-F., J. Johannessen, G. Hauge, V. Kerbaol, F. Collard. 2006. High-resolution Wind Field Retrievals off the Norwegian Coast: Comparing ASAR Observations and MM5 Simulations. Proceedings of OceanSAR 2006 – Third Workshop on Coastal and Marine Applications of SAR, St. John's, NL. Canada, Oktober 2006.

[11]Sindosi, O.A., A. Bartzokas, V. Kotroni, K. Lagouvardos. 2012. Verification of precipitation forecasts of MM5 model over Epirus, NW Greece, for various convective parameterization schemes. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12: 1393–1405.

[12]Oncley, S.P., J. Dudhia. 1995. Evaluation of surface fluxes from MM5 using observations. Monthly Weather Review, 123; 3344-3357.

[13]Grossman-clarke, S., J.A. Zehnder, W.L. Stefanov, Y. Liu, M.A. Zoldak. 2005. Urban modification in a mesoscale meteorological model and the effects on near-surface variables in an arid metropolitan region. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 44: 1281-1296.

[14] Durante, F., T. de Paus. 2006. A comparison of MM5 and Meteo mast wind profiles at Cabauw, the Netherlands and Wilhelmshaven, Germany. e-WindEng (003). ISSN 1901-9181.

[15]Deng, A., D.R. Stauffer. 2006. On improving 4-km mesoscale model simulations. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 45: 361-381.

[16]Ruiz-Arias, J.A., D. Pozo-Vázquez, N. Sánchez-Sánchez, J.P. Montávez, , A. Hayas-Barru, J. Tovar-Pescador. 2008. Evaluation of two MM5-PBL parameterizations for solar radiation and temperature estimation in the South-Eastern area of the Iberian peninsula. Il Nuovo Cimento, 31C(5-6): 825-842.

[17]Brazel, A., S. Grossman-Clarke, J.A. Zehnder, B.C. Hedquist. 2003. Observations and MM5 simulations of the urban heat island in Phoenix, Arizona, USA with a modified land cover scheme. Proceedings of fifth international conference on urban climate. Lodz, Poland 1-5 September 2003. Available at: http://nargeo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/O_8_3.pdf . (diakses pada tanggal 1 April 2008).

[18]Grossman-clarke, S., Y. Liu, J.A. Zehnder, J.D. Fast. 2007. Simulation of the urban planetary boundary layer in an arid metropolitan area. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 47: 752-768.

[19]Chang, L.K., A.M. Abdullah, W.N.A. Sulaiman, M.F. Ramli. 2010. The effects of improved land use on the meteorological modeling in Klang Valley region Malaysia. EnvironmentAsia, 3: 117-123.