

KEMAMPUAN SALURAN TERMAL CITRA LANDSAT 7 ETM+ DAN CITRA ASTER DALAM MEMETAKAN POLA SUHU PERMUKAAN DI KOTA DENPASAR DAN SEKITARNYA

I Gede Yudi Wisnawa

Jurusan Geografi, FKIP Singaraja, Bali

Sutanto

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Sudibyakto

sudibyakto@gmail.com

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

ABSTRACT

This research was carried out in some parts of Bali Province, including Denpasar city and the surrounding regencies. The purposes of this research are: 1) to determine the pattern of surface temperature in Denpasar city; 2) to determine the accuracy level of the thermal channels in the Landsat 7 ETM+ and ASTER images for mapping the pattern of surface temperature in Denpasar city; 3) as well as to determine the relationship between the surface temperatures with building and with vegetation coverages. The method applied in this research are density slicing analysis, the 3rd ordo polynomial regression analysis, the root mean square different (rmsD), and the product moment correlations. The image enhancement techniques which are used in this research include thermal data calibrations, urban index transformation, and vegetation index transformation. The results of this study shows that the pattern of urban surface temperature spreads spatially and does not occur exclusively only in the city center but also in its surrounding areas; found in settlements with the density ranging from compact to more compact; also found in dry land with vegetation density ranging from sparse to sparser. Starting the value of rms difference can be used as the standard measurement in assesment of the surface temperature extraction accuracy. The 6.1st channel of Landsat 7 ETM+ image is the best which shows the rms difference of 4.95, followed by the 13rd channel of ASTER image with the rms difference of 5.73. The value of highly positive correlation between building density index with surface temperature is 0.73. It means that each increased of building density index value will be followed by increasing of surface temperature value. The value of highly negative correlation also happened between vegetation density index (vegetation coverage) with the surface temperature is -0.53. It means that each increased of vegetation index value will be followed by decreasing of surface temperature value.

Key words: *Thermal channel, Landsat 7 ETM+ image, ASTER image, Surface Temperature Pattern.*

PENDAHULUAN

Obyek di wilayah perkotaan merupakan lahan terbangun yang dicirikan oleh material kedap air. Hal tersebut berakibat pada penyerapan radiasi kapasitas dan konduktivitas termal yang tinggi. Hal tersebut akan mengakibatkan suhu yang lebih tinggi pada daerah perkotaan dibandingkan pada daerah perdesaan. Dengan adanya perbedaan suhu tersebut, maka *isotherm* (garis yang menghubungkan titik-titik dengan suhu yang sama) di pusat perkotaan akan berbeda dengan *isotherm* di daerah sekitarnya. *Isotherm* di pusat kota biasanya relatif lebih rapat dibanding *isotherm* yang ada di daerah perdesaan, sehingga menghasilkan kesan sebagai sebuah pulau. Perbedaan distribusi suhu inilah yang selanjutnya melahirkan istilah fenomena yang dikenal sebagai fenomena "Pulau Panas Perkotaan" atau "*Urban Heat Island*".

Untuk mengetahui perkembangan atau perubahan kondisi klimatologi mikro suatu daerah khususnya di perkotaan, diperlukan pengamatan dan pengukuran baik secara langsung atau pun dengan menggunakan data sekunder. Variabel mendasar dalam iklim yang dapat digunakan untuk keperluan tersebut adalah suhu, karena suhu merupakan elemen dasar iklim yang paling mudah dirasakan perubahannya. Suhu juga merupakan bagian atau komponen dari alam yang sangat dipengaruhi dan mempengaruhi aktivitas makhluk hidup serta kondisi lingkungan (Spencer, 1993).

Secara umum kenaikan suhu terjadi karena radiasi dari matahari yang sampai di permukaan bumi langsung diterima oleh muka bumi. Fenomena ini biasanya terjadi pada kondisi lahan yang pada awalnya memiliki potensi sebagai pengendali bahang (*sensible heat*) secara alami, menjadi kurang berpotensi atau bahkan tidak berpotensi. Contoh nyata adalah daerah hutan yang berubah menjadi daerah perkotaan. Daerah hutan memiliki banyak vegetasi yang mengurangi efek bahang. Sebaliknya daerah perkotaan yang padat dan terbuka cenderung langsung menerima bahang dan meningkatkan suhu permukaan.

Pemanfaatan satelit untuk melihat persebaran suhu di permukaan bumi merupakan langkah yang cukup tepat. Dengan teknologi penginderaan jauh akan lebih memungkinkan perolehan data dengan resolusi spasial yang tinggi dan liputan yang luas (Streutker, 2003). Cara untuk mempelajari fenomena di atas adalah dengan mengetahui persebaran suhu di seluruh daerah penelitian dengan menggunakan citra satelit yang memiliki sensor termal. Informasi yang disadap dari citra adalah untuk mengetahui seberapa besar perbedaan suhu yang terjadi dalam jangka waktu tertentu melalui perubahan rona pada citra, dan titik mana saja yang mengalami perubahan suhu baik secara makro mau pun mikro. Dari data tersebut akan diketahui lokasi pulau panas perkotaan yang ada. Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi terjadinya pulau panas perkotaan secara spesifik, diperlukan data lain berupa peta tutupan lahan, dan peta topografi. Pengukuran

suhu permukaan pada citra satelit lebih efektif jika disertai dengan pengukuran langsung pada obyek yang dianggap memiliki potensi dalam meningkatkan suhu permukaan sebagai perbandingan terhadap suhu radian yang diperoleh berdasarkan nilai suhu spektral pada citra.

Kota Denpasar dipilih sebagai daerah kajian penelitian ini oleh karena kota ini merupakan ibukota Propinsi Bali, sekaligus sebagai pusat pemerintahan, pusat jasa dan perdagangan di Propinsi Bali. Pemerintah Kota Denpasar (2007) pun telah menyatakan, bahwa terjadi kenaikan suhu udara rata-rata di Kota Denpasar sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$ (0,37 %) yaitu dari $26,9^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2000 menjadi 27°C pada tahun 2005. Untuk menghindari dan mengantisipasi masalah perubahan suhu yang cenderung meningkat dengan efek negatifnya, maka informasi tentang faktor penyebab, distribusi suhu permukaan, serta efeknya sangat diperlukan.

Tujuan penelitian eksperimental ini secara singkat adalah mengetahui pola suhu permukaan perkotaan di Denpasar, untuk mengetahui tingkat akurasi saluran termal citra Landsat 7 ETM+ dan citra ASTER yang digunakan dalam memetakan pola suhu permukaan perkotaan di Denpasar. Kemudian untuk mengetahui hubungan antara suhu permukaan dengan liputan bangunan dan liputan vegetasi.

Suhu radiasi dari objek dapat digunakan untuk membedakan satu objek dengan objek lain, serta menentukan karakteristik dari objek. Suhu radiasi dari objek dipengaruhi oleh empat faktor, yaitu emisivitas, suhu kinetik, karakteristik termal, dan nilai pemanasan (Curran, 1985). Suhu permukaan secara umum didefinisikan sebagai suhu kulit dari permukaan bumi. Untuk lahan terbuka, suhu permukaan adalah suhu permukaan tanah. Untuk daerah dengan kerapatan vegetasi tinggi, suhu permukaan berupa suhu permukaan kanopi vegetasi. Pada daerah dengan kerapatan vegetasi jarang, suhu permukaan merupakan rerata dari suhu vegetasi dan tanah atau permukaan yang melatar-belakanginya. (Oke, 1992), juga menyatakan bahwa panas yang dihasilkan oleh aktivitas di atas permukaan khususnya kendaraan bermotor lebih berpengaruh terhadap panas suhu udara daripada panas dari permukaan.

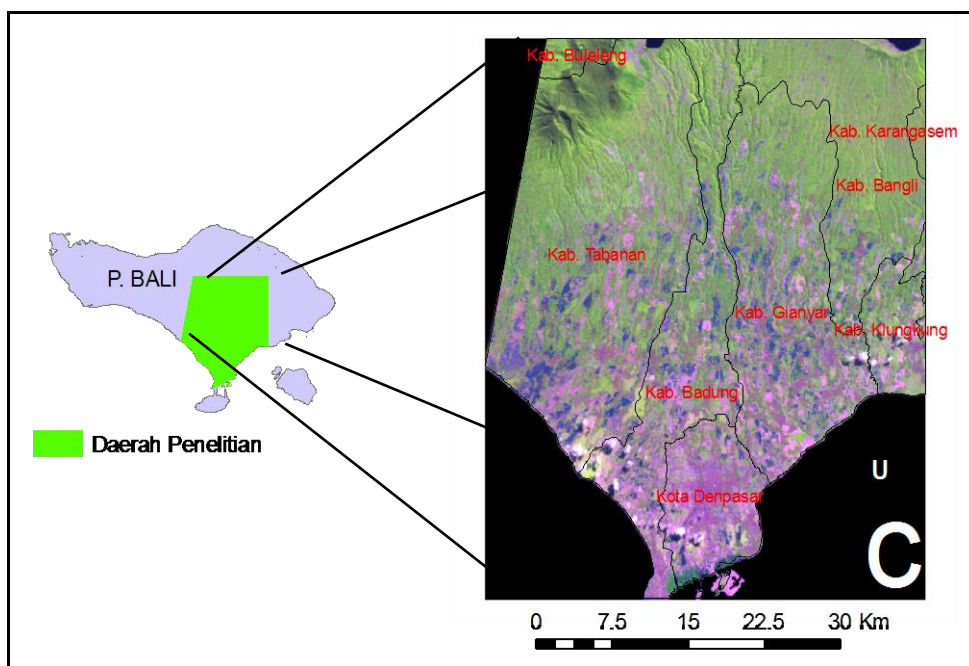
Emisivitas dari setiap permukaan dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada perbedaan pada struktur tanah, komposisi tanah, material organik dan juga perbedaan pada karakteristik tutupan vegetasi. Meskipun spektral daun pada spesies yang berbeda terlihat mirip pada gelombang tampak dan inframerah dekat, respon spektral yang berbeda jelas dan ciri yang konsisten tampak pada daerah termal (Gates, 1965) dalam (Van de Griend dan Owe, 1993).

METODE PENELITIAN

Oleh karena Kota Denpasar diasumsikan mempunyai suhu permukaan yang nampak kontras berbeda dengan daerah di sekitarnya yang berupa perdesaan atau pun kota-kota kabupaten yang lokasinya bersebelahan. Maka, Pemilihan daerah

penelitian mengacu pada pertimbangan resolusi spasial citra serta luasan cakupan daerah penelitian pada *scene* citra. Sehingga, batasan daerah penelitian bukan mengacu pada batas administratif kota, melainkan mengacu pada perentangan batas fisik yang mencerminkan daerah kota Denpasar dan daerah pinggirannya.

Dimensi citra daerah kajian penelitian diperoleh melalui pemotongan citra, yaitu dengan mengikuti penentuan luasan blok sampel seluas 725 x 869 piksel pada citra Landsat 7 ETM+ dan seluas 483 x 579 piksel pada citra ASTER TIR yang didasarkan pada luasan vektor yang sebelumnya telah dibuat. Daerah penelitian hasil proses pemotongan citra mempunyai letak pada koordinat UTM 288052, 296 mT – 300080,321 mT dan 9084722,939 mU – 9032871,154 mU. Oleh karena adanya perbedaan resolusi spasial diantara kedua citra, maka hasil pemotongan citra pada citra Landsat 7 ETM+ saluran 6 pada tahap selanjutnya akan dilakukan proses *resampling* berupa penyamaan ukuran piksel (*layer stacking*) dari sebelumnya adalah 60 meter menjadi 90 meter, mengikuti resolusi spasial dan luasan blok piksel citra ASTER TIR. Hasil pemotongan citra seluruhnya akan mempunyai ukuran piksel 483 baris x 579 kolom dengan ukuran luas total daerah penelitian 43,47 km² x 52,11 km².



Gambar 1. Daerah penelitian yang ditunjukkan oleh Citra Landsat 7 ETM+

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *stratified random sampling*, dimana dalam metode ini dilakukan pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan pembagian kelas nilai digital citra. Perolehan data suhu di lapangan dilakukan dengan teknik observasi bergerak (*moving observation technique*). Titik observasi dipilih berdasarkan pertimbangan homogenitas nilai digital piksel yang

dibagi menjadi 10 kelas. Pengukuran suhu lapangan dilakukan pada tanggal 9 s/d tanggal 23 Mei 2008. Hal ini untuk lebih mendekati asumsi bahwa kondisi perolehan data lapangan mendekati/ relatif sama dengan waktu pada saat perekaman kedua citra.

Kalibrasi data citra termal dilakukan dengan beberapa tahapan untuk menghasilkan peta temperatur permukaan, diantaranya konversi nilai digital ke radiansi spektral, konversi radiansi spektral ke suhu radian, konversi suhu radian ke suhu kinetik disertai input nilai koefisien emisivitas pada tiap kelas objek penutup lahan, dan konversi suhu kinetik ke suhu (dalam °C). Setelah dilakukannya proses ekstraksi suhu permukaan, distribusi suhu permukaan dapat diketahui melalui analisis pemilahan tingkat kecerahan (*density slicing*).

Oleh karena penelitian ini lebih dititikberatkan untuk menentukan saluran termal yang paling akurat, maka dalam hal ini harus ada data suhu permukaan sebagai penguji lapangan. Masalah selanjutnya, karena penelitian ini diujikan pada waktu yang berbeda, maka perlu dikembangkan metode observasi lapangan yang bisa diekstrapolasi ke belakang, dengan tujuan untuk mengestimasi suhu permukaan pada waktu saat perekaman citra. Metode observasi ini dilakukan dengan cara membuat fungsi matematis (fungsi regresi tunggal Polynomial Orde 3) terhadap data suhu permukaan dan suhu udara saat di lapangan yang ditujukan untuk menunjukkan hubungan antara keduanya. Apabila fungsi tersebut telah ditemukan, selanjutnya dilakukan cek suhu udara pada saat perekaman untuk mengestimasi suhu permukaan tiap objek saat perekaman. Analisis dan pembahasan pada koefisien fungsi regresi suhu udara dilakukan untuk melakukan ekstrapolasi estimasi suhu permukaan sesuai dengan waktu perekaman kedua citra.

Selain dengan melakukan analisis regresi, pengujian ketelitian dilakukan pula dengan memperbandingkan antara suhu permukaan yang diukur melalui satelit (saluran termal pada Landsat 7 ETM+ dan ASTER) dan nilai referensi atau suhu permukaan hasil observasi lapangan. Untuk itu dapat digunakan *root mean square difference (RMS Difference)*. Dalam hal ini cenderung disebut *difference* atau perbedaan dibanding *error* karena data suhu hasil observasi belum tentu benar mutlak atau standar. Analisis dan pembahasan terhadap uji ketelitian dengan *RMS difference* dilakukan dengan mengartikan nilai *RMS* terendah yang diperoleh dari perhitungan pada tiap saluran termal yang dipergunakan, sebagai saluran termal yang memiliki perbedaan paling kecil antara nilai suhu pada citra dengan nilai suhu hasil observasi lapangan. Saluran termal tersebut juga dapat disimpulkan sebagai saluran termal yang memiliki keakuratan paling tinggi dalam mengekstrak suhu permukaan.

Transformasi indeks kota dan transformasi indeks vegetasi dilakukan untuk melihat luasan lahan terbangun dan luasan vegetasi yang memberikan kontribusi pada suhu permukaan. Hubungan antara liputan vegetasi dan liputan bangunan

terhadap suhu permukaan diperoleh dengan melakukan analisis korelasi *Pearson* atau *Product Moment Correlation*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu permukaan hasil ekstraksi citra Landsat 7 ETM+ terutama saluran 6.1 memiliki *range* suhu yang lebih lebar apabila dibandingkan dengan hasil ekstraksi citra ASTER saluran TIR. Hal ini dimungkinkan terjadi, karena apabila ditinjau dari resolusi spasial kedua citra, citra ASTER memiliki resolusi spasial yang lebih rendah (90 meter) daripada citra Landsat 7 ETM+ (60 meter). Meskipun telah dilakukan penyamaan ukuran piksel (*layer stacking*) pada citra ASTER pasca ekstraksi suhu kinetik, ukuran piksel awal pada ASTER telah mencakup rerata suhu permukaan yang lebih heterogen di permukaan bumi seluas 90 meter per piksel. Penggeneralisasian suhu permukaan dapat saja terjadi, apabila dalam suatu luasan piksel terdapat tutupan lahan berupa permukiman padat, namun rerata suhu permukaan dapat menurun apabila dalam luasan tersebut juga terdapat tutupan lahan berupa vegetasi campuran atau pun tubuh air.

Perbedaan *range* suhu permukaan secara lebih spesifik juga terjadi pada citra Landsat 7 ETM+ saluran 6.1 dengan saluran 6.2, dimana terjadi selisih perbedaan nilai suhu permukaan maksimum pada citra. Hal ini dapat disebabkan adanya perbedaan *setting* antara keduanya, yaitu saluran 6.1 dengan *setting low gain* dan saluran 6.2 dengan *setting high gain*. Pada ASTER, perbedaan *range* suhu permukaan terjadi namun tidak terlalu signifikan berbeda antar saluran termal. Hal tersebut dapat ditunjukkan melalui tabel 1.

Hasil ekstraksi saluran 6.1 pada citra Landsat 7 ETM+ dan hasil ekstraksi saluran 13 citra ASTER dipilih untuk dijadikan sebagai acuan dalam menjelaskan persebaran fenomena pulau panas permukaan perkotaan di Kota Denpasar dan sekitarnya. Hal ini didasarkan pada asumsi bahwa *range* suhu permukaan hasil ekstraksi kedua saluran tersebut lebih lebar serta memiliki hasil paling akurat yang ditunjukkan dengan nilai *rms difference*.

Tabel 1. Statistik Suhu Permukaan Saluran Termal Landsat 7 ETM⁺ dan ASTER TIR

	Suhu Kinetik Saluran Termal						
	Landsat 7 ETM ⁺		ASTER TIR				
	6.1	6.2	10	11	12	13	14
Min	-273,00	-273,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00
Max	44,03	38,96	37,30	36,71	35,90	32,55	31,12
Mean	29,15	20,85	35,79	35,21	34,37	31,29	29,97
St. Dev	10,59	10,45	4,61	4,54	4,43	4,03	3,87

Sumber: hasil pengolahan data

Pada peta suhu permukaan Kota Denpasar hasil ekstraksi citra Landsat 7 ETM+ saluran 6.1, terbentuk *range* suhu permukaan yang cukup lebar dan jelas. Suhu permukaan rata-rata adalah $29,15^{\circ}\text{C}$ dengan standar deviasi sebesar 10,59. Secara umum, gradasi warna merah tua pada peta hasil ekstraksi suhu permukaan mewakili suhu permukaan yang tinggi dengan daerah yang diasosiasikan sebagai daerah perkotaan, lahan terbuka, jalan beraspal, tanah kering, dan lahan terbangun. Gradasi warna kuning cerah mewakili suhu permukaan rendah yang dapat diasosiasikan sebagai tutupan lahan berupa tanah basah (sawah dengan irigasi), sawah, vegetasi campuran, padang rumput, dan tubuh air. Peta suhu permukaan Kota Denpasar dan sekitarnya hasil ekstraksi citra Landsat 7 ETM+ saluran 6.1 dapat dilihat pada lampiran Gambar 2 .

Pada peta suhu permukaan Kota Denpasar hasil ekstraksi citra ASTER, *range* suhu permukaan terlihat lebih sempit. Sehingga dalam pengklasifikasiannya sukar untuk dihindari terbentuknya kelas klasifikasi dengan selisih desimal yang rapat. Beberapa area pada liputan citra ASTER ini juga mengalami gangguan (*noise*) yang disebabkan oleh adanya tutupan awan, sehingga ekstraksi suhu permukaan pada area-area tersebut tidak dapat dilakukan secara optimal. Peta suhu permukaan Kota Denpasar dan sekitarnya hasil ekstraksi citra ASTER saluran TIR 13 dapat dilihat pada lampiran Gambar 3.

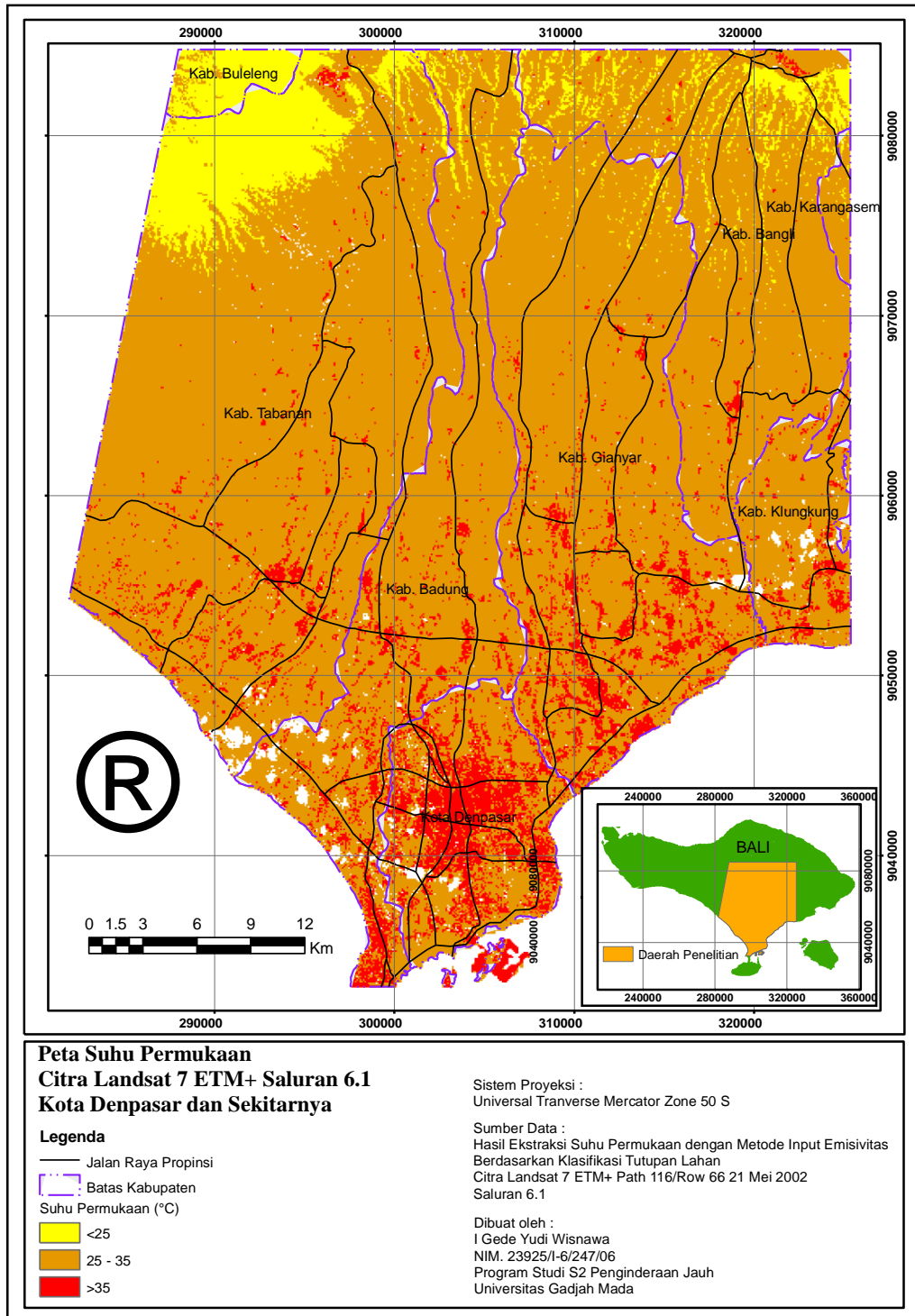
Pengujian ketelitian tiap saluran termal dapat dilakukan dengan membandingkan antara suhu permukaan yang diukur melalui satelit dengan nilai referensi atau suhu permukaan hasil observasi lapangan. Penggunaan *root mean square difference (RMS Difference)* pada uji ketelitian ekstraksi suhu permukaan pada saluran termal citra Landsat 7 ETM+ dan ASTER terhadap suhu permukaan hasil cek lapangan dapat dilihat pada tabel 2.

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa nilai suhu hasil ekstraksi dari Citra Landsat 7 ETM+ saluran 6.1 paling baik dengan *rms difference* sebesar 4,95, diikuti saluran 13 pada citra ASTER dengan *rms difference* sebesar 5,73. Oleh karena semakin kecil nilai *rms difference* yang diperoleh pada suatu citra saluran termal tertentu, maka akan semakin akurat pula informasi hasil ekstraksi suhu permukaan yang dihasilkan oleh saluran termal tersebut.

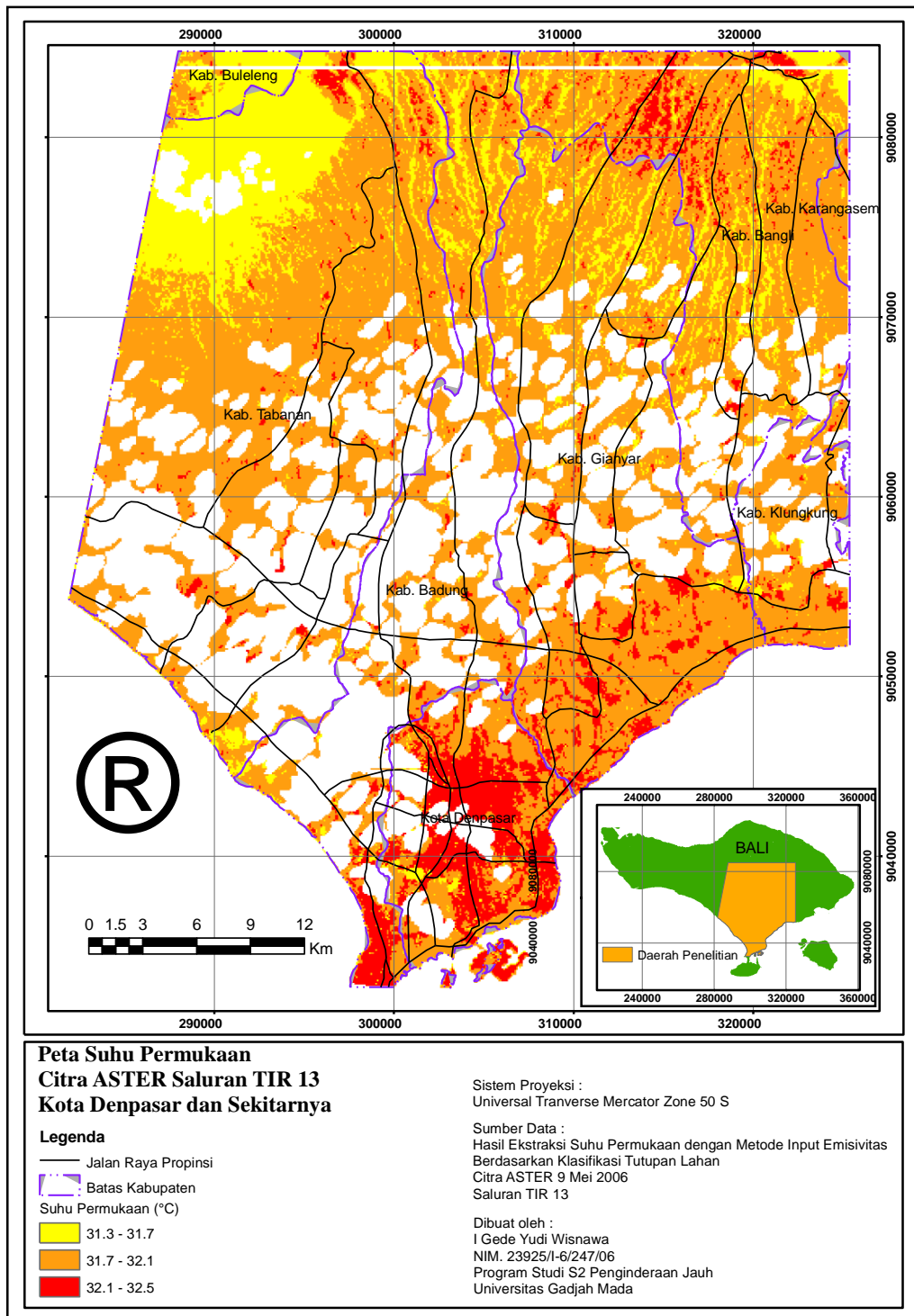
Tabel 2. *RMS Difference* suhu permukaan hasil ekstraksi saluran termal citra Landsat 7 ETM+, citra ASTER dan hasil cek lapangan

Landsat 7 ETM+ Saluran Termal		ASTER Saluran Termal				
6.1	6.2	10	11	12	13	14
4,95	13,61	6,87	6,52	6,13	5,74	6,09

Sumber: hasil pengolahan



Gambar 3. Peta Suhu Permukaan Citra Landsat 7 ETM+ Saluran 6.1 Kota Denpasar dan Skitarnya



Gambar 3. Peta Suhu Permukaan Citra ASTER Saluran TIR 13 Kota Denpasar dan Skitarnya

Transformasi indeks vegetasi pada citra Landsat 7 ETM+ mempergunakan saluran 4 dan saluran 3, dimana saluran 4 memiliki respons terhadap biomassa vegetasi, sedangkan saluran 3 memiliki fungsi untuk memisahkan vegetasi dan memperkuat kontras kenampakan vegetasi dan non vegetasi. Kelas Indeks Vegetasi serta peta liputan vegetasi Kota Denpasar dan sekitarnya dapat dilihat pada tabel 3.

Citra hasil transformasi indeks kota dengan rona yang cerah menunjukkan liputan bangunan yang rapat atau tinggi. Sedangkan semakin gelap rona pada citra maka liputan bangunan semakin jarang. Kelas Indeks Kota hasil transformasi indeks kota dapat dilihat pada tabel 4.

Hasil perhitungan korelasi *Pearson* terhadap nilai indeks kota dan indeks vegetasi terhadap suhu permukaan menunjukkan bahwa terjadi korelasi positif kuat sebesar 0,73 antara indeks kepadatan bangunan (liputan bangunan) dengan suhu permukaan. Ini berarti bahwa setiap kenaikan nilai pada indeks kepadatan bangunan (variabel Y) akan diikuti dengan kenaikan nilai suhu permukaan (variabel X), demikian pula sebaliknya. Korelasi negatif kuat juga terjadi sebesar -0,53 yang diperoleh antara indeks kepadatan vegetasi (liputan vegetasi) dengan suhu permukaan. Hal ini berarti bahwa setiap kenaikan nilai pada indeks kepadatan vegetasi (variabel Y) akan diikuti dengan penurunan nilai suhu permukaan (variabel X), demikian pula sebaliknya. Pasangan data tersebut apabila ditampilkan dalam bentuk sebaran regresi data, maka akan terlihat seperti gambar 2.

Tabel 3. Kelas Indeks Vegetasi

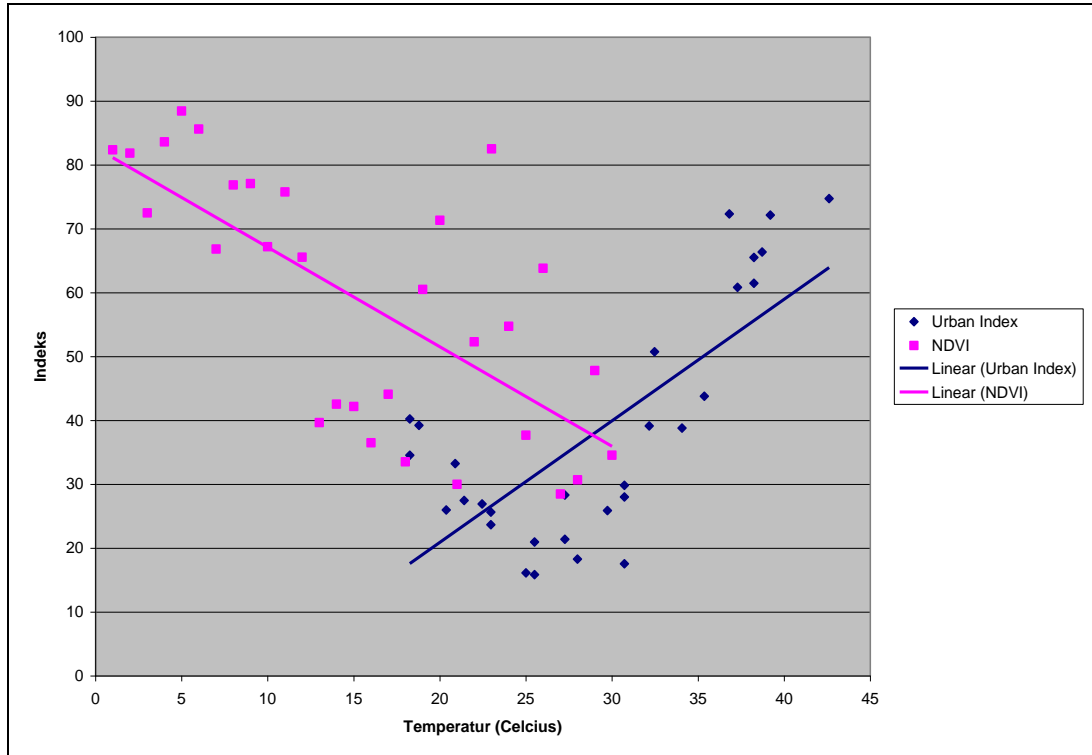
Kelas	Interval	Keterangan
1.	0 – 20,63	Tidak ada vegetasi
2.	20,63 – 40,47	Vegetasi kerapatan sangat jarang
3.	40,47 – 60,31	Vegetasi kerapatan jarang
4.	60,31 – 80,16	Vegetasi kerapatan rapat
5.	80,16 – 100	Vegetasi kerapatan sangat rapat

Sumber: hasil pengolahan

Tabel 4. Kelas Indeks Kota

Kelas	Interval	Keterangan
1.	0 – 18,96	Tidak ada bangunan
2.	18,96 – 37,55	Bangunan kerapatan sangat jarang
3.	37,55 – 44,25	Bangunan kerapatan jarang
4.	44,25 – 48,50	Bangunan kerapatan rapat
5.	48,50 – 100	Bangunan kerapatan sangat rapat

Sumber: hasil pengolahan



Gambar 2. Regresi antara liputan vegetasi dan liputan bangunan terhadap suhu permukaan (Sumber: hasil perhitungan)

KESIMPULAN DAN SARAN

Pola suhu permukaan perkotaan tersebar secara spasial tidak hanya terjadi di pusat kota tetapi juga di daerah pinggiran. Suhu permukaan tinggi ditemukan di daerah yang jaraknya relatif jauh dengan pusat kota. Terjadinya suhu yang tinggi lebih disebabkan oleh adanya bangunan yang padat pada suatu wilayah, tetapi tidak didukung oleh kebersamaan bangunan lain. Sehingga pengaruh terhadap lingkungan radiusnya tidak luas. Suhu permukaan yang tinggi di perkotaan lebih dominan disebabkan oleh terperangkapnya panas dari permukaan bumi atau bangunan yang umumnya memiliki emisivitas tinggi, sehingga mengakibatkan nilai suhu permukaan bangunan lebih tinggi daripada daerah sekitarnya.

Pengungkapan nilai *rms difference* dapat digunakan sebagai tolok ukur uji akurasi ekstraksi suhu permukaan. Citra Landsat 7 ETM+ saluran 6.1 memiliki akurasi paling tinggi dalam ekstraksi suhu permukaan yang ditandai oleh perbedaan terkecil pada *rms difference* sebesar 4,95, diikuti saluran 13 pada citra ASTER dengan *rms difference* sebesar 5,73.

Korelasi positif kuat sebesar 0,73 antara indeks kepadatan bangunan (liputan bangunan) dengan suhu permukaan, ini berarti bahwa setiap kenaikan nilai pada indeks kepadatan bangunan akan diikuti dengan kenaikan nilai suhu permukaan. Korelasi negatif kuat juga terjadi sebesar -0,53 yang diperoleh antara indeks kepadatan vegetasi (liputan vegetasi) dengan suhu permukaan, berarti bahwa setiap kenaikan nilai pada indeks kepadatan vegetasi akan diikuti dengan penurunan nilai suhu permukaan.

Penyajian pola suhu permukaan hendaknya tidak hanya terbatas secara spasial saja, namun juga memperhatikan pola secara temporal harian pada tiap-tiap jenis objek di permukaan bumi yang berbeda. Sehingga karakteristik respons termal tiap objek terhadap intensitas panas cahaya matahari dapat diketahui.

Pengungkapan nilai rms difference digunakan sebagai tolok ukur uji akurasi ekstraksi suhu permukaan masih relatif kurang rinci, mengingat resolusi spasial saluran termal masih terbatas pada resolusi rendah, masih adanya selisih waktu antara perekaman citra dengan observasi data lapangan. Untuk itu perlu dikembangkan serta diterapkan metode uji akurasi lainnya yang lebih kompleks dengan mempertimbangkan variabel kelembaban udara, kecepatan dan arah angin, transmitansi atmosfer, ketinggian serta kondisi lingkungan di sekitar daerah penelitian agar hasil yang diperoleh lebih mendekati akurat.

Ekstraksi liputan bangunan dan liputan vegetasi dengan mempergunakan transformasi NDVI dan transformasi Urban Index hanya mampu menghasilkan nilai yang bersifat kualitatif. Untuk itu diperlukan verifikasi berdasarkan keadaan kepadatan secara kuantitatif di lapangan menurut luasan tertentu, misalnya dengan mengacu kepada ukuran piksel foto udara atau citra satelit beresolusi tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Prof. Dr. Dulbahri, Drs. Projo Danoedoro, M.Sc., Ph.D., Drs. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc., Syamani, M. Ridha Syafii Damanik, Firman Farid Muhsoni, dan John Ernst Lande atas semua ilmu yang telah diberikan untuk penyempurnaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Curran, P. J., 1985. *Principles of Remote Sensing. Theory and Applications*. New York : Longman Group Limited.

Oke, T.R., 1992. *Boundary Layer Climates*, Cambridge : University Press.

- Spencer, W.S., 1993. *Monitoring of Global Tropospheric and Stratospheric Temperature Trends*. Atlas of Satellite Observations Related to Global Change. Cambridge University Press. 2 : 79-86.
- Streutker, D.R., 2003. *A Study of The Urban Heat Island of Houston, Texas*. Thesis. Rice University.
- Van de Griend, A. A., dan Owe, M., 1993. On The Relationship Between Thermal Emissivities and Normalized Difference Vegetation Index For Natural Surfaces, *International Journal of Remote Sensing*, 14(6): hal . 1119-1131.