

Metode Estimasi *Latent Heat Flux* dari *Radiative Bowen Ratio* dari data Satelit Landsat

Laras Tursilowati

Bidang Aplikasi Klimatologi & Lingkungan, Pusfatsatklm, LAPAN

laras@bdg.lapan.go.id

Abstrak

Metode estimasi Latent Heat Flux (λE) dari *radiative Bowen Ratio* (β) sangat bagus untuk menghitung evapotranspirasi dari data satelit Landsat. Latent Heat Flux adalah energi untuk evaporasi dan transpirasi. Monitoring Evapotranspirasi potensial mempunyai implikasi penting pada model iklim regional dan global, sebagaimana dalam pengetahuan tentang siklus hidrologi dan perkiraan perubahan lingkungan yang mempengaruhi hutan dan ekosistem pertanian. Estimasi evapotranspirasi dari temperatur infrared bisa dihitung sebagai komponen residu dari kesetimbangan energi permukaan. Pada penelitian ini dikemukakan hasil perhitungan latent heat flux dan evapotranspirasi potensial pada skala regional di Balikpapan, yang dibandingkan dengan penutup lahannya. Pada tahun 1998 wilayah Balikpapan didominasi lahan perkebunan (58,3% atau 29171 ha), kemudian lahan terbuka (22% atau 11012 ha), Pemukiman (11,2% atau 5581 ha), Tubuh air (6,6% atau 3311 ha), Industri (1% atau 515 ha), dan sawah (0,9% atau 431 ha). Tahun 2005 wilayah Balikpapan masih didominasi lahan perkebunan (63,8%), kemudian Pemukiman (16,7%), Lahan terbuka (9,2%), tubuh air (6,8%), Industri (2 %) dan sawah (1,4%). Hasil estimasi menunjukkan bahwa Latent heat flux rata-rata yang tertinggi ada pada jenis penutup lahan tubuh air yaitu 200 W/m², kemudian awan (161.5 W/m²), sawah (163 W/m²), perkebunan (127 W/m²), industri (38 W/m²), pemukiman (30.5 W/m²), dan terakhir pada lahan terbuka (26,5 W/m²). nilai evapotranspirasi tertinggi ada pada lahan tubuh air dengan rata-rata 6,25 mm, kemudian awan dan sawah 5,6 mm, perkebunan 4,7 mm, pemukiman dan lahan terbuka 1,2 mm, dan terkecil ada pada lahan industri 1,1 mm. Apabila distribusi evapotranspirasi dibandingkan dengan pola sebaran latent heat flux terlihat ada kemiripannya, yaitu bahwa apabila nilai latent heat flux tinggi maka akan tinggi pula nilai evapotranspirasinya, demikian juga sebaliknya apabila latent heat flux rendah maka evapotranspirasinya akan rendah juga.

Kata kunci: Latent heat flux, Bowen ratio, Evapotranspirasi potensial, satelit Landsat.

Abstract

Estimation method of Latent Heat Flux (λE) from radiative Bowen Ratio (β) is very useful for evapotranspiration estimation from Landsat satellite data. Latent Heat Flux is energy for evaporation and transpiration. Potential Evapotranspiration monitoring is important implication in regional and global climate model, as in knowledge about hydrology cycle and prediction of environment change that influence to forest and agriculture ecosystem. Estimation of evapotranspiration from infrared temperature is usually calculated as the residual component of the surface energy balance. A simple and more accurate method, which determines the Bowen ratio (β) and the latent heat flux (λE) that could be estimated from Landsat satellite data. The radiative Bowen ratio is derived from surface and air temperatures and vapor pressure. In 1998 Balikpapan dominated by plantation (58,3% or 29171 ha), then open land (22% or 11012 ha), settlement (11,2% or 5581 ha), water body (6,6% or 3311 ha), industry (1% or 515 ha), and paddy field (0,9% or 431 ha). In 2005 Balikpapan still dominated by plantation (63,8%), then settlement (16,7%), open land (9,2%), water body (6,8%), industry (2 %) and paddy field (1,4%). Estimation result show that the highest of latent heat flux averages in water body area is 200 W/m², then clouds (161.5 W/m²), paddy field (163 W/m²), plantation (127 W/m²),

industry (38 W/m^2), settlement (30.5 W/m^2), and the lowest in open land (26.5 W/m^2). The highest of evapotranspiration average is in water body 6.25 mm , then cloud (5.6 mm), paddy field (5.6 mm), plantation 4.7 mm , settlement (1.2 mm), open land (1.2 mm) and the lowest in the industry area (1.1 mm). If distribution of evapotranspiration was compared with latent heat flux spreading show the similarity, that is if high value of latent heat flux, then evapotranspiration is high too, contrary if latent heat flux low then evapotranspiration low too.

Keywords: Latent heat flux, Bowen ratio, Potential Evapotranspiration, Landsat satellite.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Evapotranspirasi (ETP) adalah perpaduan antara evaporasi dari permukaan tanah dengan transpirasi dari tumbuh-tumbuhan. Evapotranspirasi merupakan salah satu komponen utama dalam siklus hidrologi dengan kaitannya pada perhitungan ketersediaan air. Penelitian ini akan mengestimasi evapotranspirasi berdasar pada metode Bowen ratio-energy balance (BREB). Dari Radiasi net (R_n) dan soil heat flux (G) dipecah menjadi dua yaitu sensible dan latent heat flux untuk menurunkan evapotranspirasi. Penggunaan citra satelit dalam perolehan data spasial telah terbukti dapat memberikan informasi yang akurat dan efisien. Perhitungan evapotranspirasi Penman, memanfaatkan citra satelit Landsat untuk memperoleh distribusi evapotranspirasi spasial dengan metode estimasi Latent Heat Flux dari Radiative Bowen Ratio di daerah studi Balikpapan, Kalimantan Timur. Dari data citra Landsat 5 TM dan 7 ETM band 6 dapat diestimasi latent heat flux dan Bowen ratio yang berperan penting dalam perhitungan Evapotranspirasi. Sedangkan dari pengolahan citra band 5, 4 dan 2 akan diklasifikasikan secara tidak terbimbing (unsupervised classification). Hasil pengolahan data dianalisis dengan Sistem Informasi Geografi (SIG).

1.2. Tujuan dan Sasaran

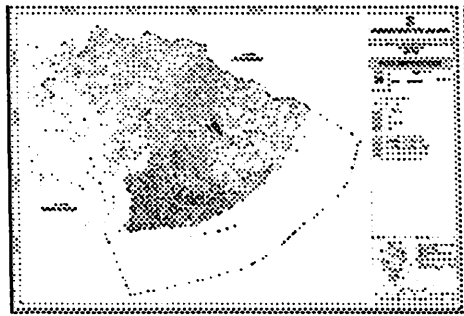
Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui perubahan evapotranspirasi, akibat perubahan tata guna dan penutup lahan di Balikpapan. Sedangkan sasaran dari penelitian yang dilakukan adalah tersedianya informasi mengenai distribusi evapotranspirasi pada perubahan tata guna dan penutup lahan di Balikpapan.

2. Lokasi, Data, dan Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Secara Geografi Kota Balikpapan memiliki wilayah 85% berbukit bukit serta 12% berupa daerah datar yang sempit yang terutama berada di daerah Aliran Sungai dan Sungai Kecil serta Pesisir Pantai. Dengan kondisi tanah yang bersifat asam (gambut), serta doinan tanah merah yang kurang subur. Sebagaimana layaknya wilayah Indonesia, kota ini beriklim tropis. Kota ini berada di pesisir timur kalimantan yang langsung berbatasan dengan Selat Makassar, memiliki teluk yang dimanfaatkan sebagai pelabuhan laut komersial dan pelabuhan minyak.

Letak Astronomis Balikpapan berada antara $1,0 \text{ LS} - 1,5 \text{ LS}$ dan $116,5 \text{ BT} - 117,5$ dengan luas sekitar $50.330,57 \text{ Ha}$ atau sekitar $503,3 \text{ Km}^2$. Balikpapan menjadi pusat pemerintahan untuk wilayah Kalimantan Timur dan Kalimantan. Jumlah penduduk Balikpapan menurut data BPS tahun 2005 adalah 500.460 jiwa.



Gambar 2.1. Peta administrasi kota Balikpapan

2.2. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

- Data Landsat TM Path/Row 116/001 tanggal akuisisi 14 Februari 1998 dengan format ERS dan Landsat ETM Path/Row 116/001 tanggal akuisisi 23 Desember 2005 dengan format L1G. (sumber : LAPAN Pekayon)
- Peta digital administrasi Balikpapan. (sumber : Bappeda Balikpapan).
- Peta digital tata guna lahan Balikpapan. (sumber : Bappeda Balikpapan).
- Data iklim harian (suhu udara, RH, angin, curah hujan) Balikpapan Pebruari 2002 – September 2005 dari BMG.

2.3. Metode Penelitian

2.3.1 Klasifikasi Jenis Penutup Lahan Balikpapan

Beberapa tahapan yang dilakukan pada pemrosesan citra satelit Landsat yaitu: Pemulihan Citra (Image Resotoration), Penajaman Citra (Image Enhancement), Cropping wilayah Kajian, Koreksi Geometri dan Koreksi Radiometri (band non termal/visible).

Setelah dilakukan proses awal dari pengolahan data citra satelit Landsat, kemudian dilakukan proses klasifikasi jenis lahan. Klasifikasi citra adalah suatu proses dimana semua pixel dari suatu citra yang mempunyai penampakan spektral yang sama akan diidentifikasi. Proses klasifikasi citra yang dilakukan dalam penelitian ini, menggunakan metode klasifikasi tidak terbimbing (*Unsupervised Classification*) untuk mendapatkan beberapa tipe penutup lahan di Balikpapan, yang diantaranya : pemukiman, sawah, perkebunan, industri, lahan terbuka, tubuh air (danau, sungai, waduk), dan awan. Sedangkan untuk analisis perubahan penutup lahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *Overlay Matrix*.

2.3.2. Latent Heat, Bowen Ratio, dan Evapotranspirasi

Estimasi evapotranspirasi berdasar pada metode Bowen ratio-energy balance (BREB). Dari Radiasi net (R_n) dan soil heat flux (G) dipecah menjadi dua antara sensible dan laten heat flux untuk menurunkan evapotranspirasi. Dari Bowen ratio bisa dihitung latent heat flux.

Persamaan kesetimbangan energi permukaan adalah

$$R_n = H + G + \lambda E \quad (1)$$

- R_n = Radiasi netto ($W m^{-2}$),
 H = sensible heat flux ($W m^{-2}$),
 G = soil heat flux ($W m^{-2}$),
 λE = latent heat flux ($W m^{-2}$)

$$\lambda E = (\lambda \rho_a \epsilon k_v / P) \Delta e / z_e \quad (2)$$

Bowen Ratio

$$\beta = (H / \lambda E) = [(P C_a) / (\lambda \epsilon)] [(T_1 - T_w) / (a_1 - a_w)]$$

Dengan memakai persamaan (1), metode Bowen ratio (Bowen 1926; Tanner (1960) bisa menghitung latent heat flux dari persamaan :

$$\lambda E = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (3)$$

$\beta = H / \lambda E$ adalah Bowen Ratio.

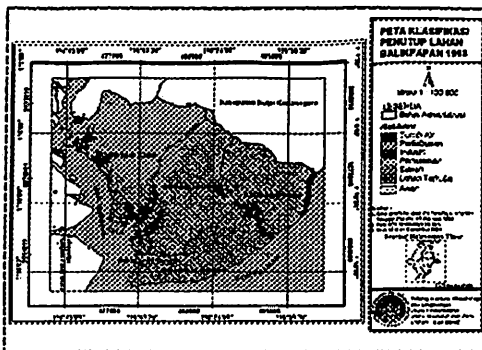
$$EF = \frac{\lambda E}{R_n - G} \quad (4)$$

Berdasarkan perhitungan praktis, Allen et al. (1998) menyatakan satu Wm^{-2} dari Fluks pemanasan uap air (λE) akan mampu menguapkan air sejumlah 0.035 mm/hari. Dari perhitungan latent heat flux dan Bowen Ratio di atas, maka evapotranspirasi (EF) bisa diketahui.

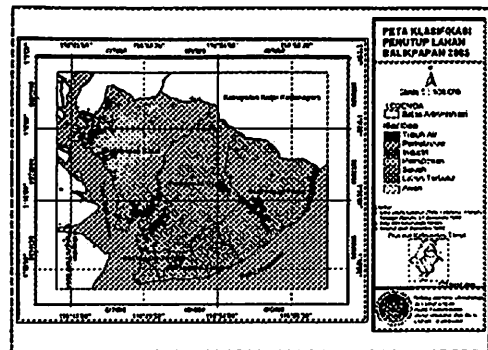
2. HASIL & PEMBAHASAN

3.1. Perubahan Lahan Balikpapan

Dari hasil klasifikasi lahan dengan metode tak terbimbing (unsupervised) yang telah divalidasi dengan hasil survey, maka didapatkan peta spasial klasifikasi lahan sebagai berikut :



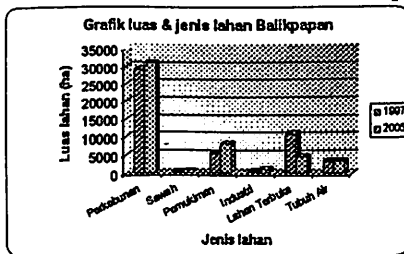
Gambar 3.1. Klasifikasi jenis penutup lahan Balikpapan tahun 1998



Gambar 3.2. Klasifikasi jenis penutup lahan Balikpapan tahun 2005

Sedangkan Perubahan lahan Balikpapan secara statistik dapat diperlihatkan pada tabel 3.1. dan gambar 2.3 berikut ini :

Tabel 3.1. Jenis dan luas lahan Balikpapan



Jenis Lahan Balikpapan	Luas lahan 1998 (t-h)	Luas Lahan 2005 (t-h)	Perubahan 2005-1998 (t-h)	PROSENASE			
				1998		2005	
				(%)	(%)	(%)	(%)
Perumahan	29171	31141	1970	93,3	83,8	4,3	6,8
Sawah	431	697	266	0,9	1,4	0,9	5,6
Perumahan	8991	8180	-811	11,2	19,7	5,6	-46,2
Industri	915	893	-22	1,8	2,0	-7,3	83,1
Lahan Terbuka	11012	4498	-6514	22,0	8,2	-14,3	-59,2
Tubuh Air	3011	3033	22	6,6	6,6	0,1	0,7
JMLAH	50022	48798	-1224	100	100		

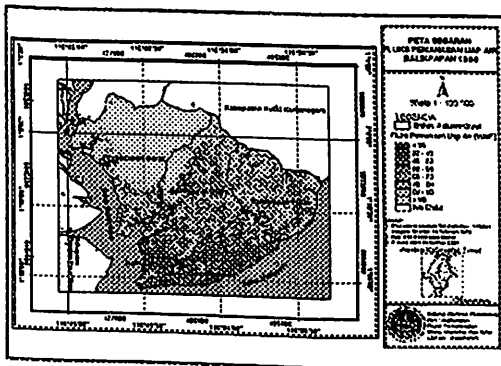
Gambar 3.3. Grafik perubahan lahan Balikpapan

Klasifikasi lahan Balikpapan ditunjukkan pada gambar 3.1 (tahun 1998) dan gambar 3.2 (tahun 2005). Sedangkan analisa statistik dari perubahan lahan di Balikpapan dapat diperlihatkan pada gambar 3.3 dan tabel 3.1. Total luas wilayah Balikpapan dari hasil

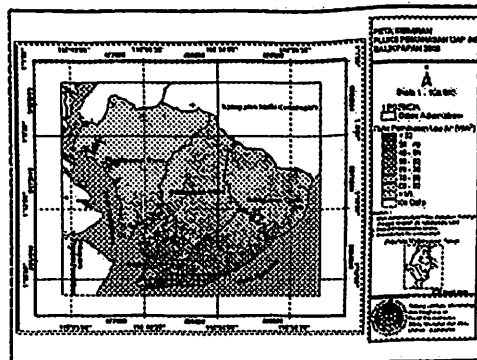
klasifikasi adalah sekitar 50000 ha. Pada tahun 1998 wilayah Balikpapan didominasi lahan perkebunan (58,3% atau 29171 ha), kemudian lahan terbuka (22% atau 11012 ha), Pemukiman (11,2% atau 5581 ha), Tubuh air (6,6% atau 3311 ha), Industri (1% atau 515 ha), dan sawah (0,9% atau 431 ha). Sedangkan pada tahun 2005 wilayah Balikpapan masih didominasi lahan perkebunan (63,8% 31141 ha), kemudian Pemukiman (16,7% atau 81560 ha), Lahan terbuka (9,2% atau 4496 ha), Industri (2 % atau 996 ha), tubuh air (6,8% atau 3336 ha), dan sawah (1,4% atau 667 ha). Dari uraian ini dapat dilihat bahwa lahan yang mengalami perluasan adalah hampir semua lahan yaitu tubuh air (25 ha), sawah (235 ha), perkebunan (1970 ha), pemukiman (2579 ha) dan industri (480 ha), sedangkan lahan terbuka mengalami pengurangan luas (6615 ha). Sebetulnya dari citra landsat ETM tahun 2005 untuk wilayah kajian Balikpapan ini ada awan yang cukup luas yaitu 5346 ha. Tetapi dengan metode overlay matrix bisa dikonversikan lagi wilayah yang tertutup awan tersebut sehingga didapat luasan lahan tanpa awan seperti yang terlihat pada grafik di gambar 3.3.

3.2. Distribusi Latent Heat Flux (flux pemanasan uap air) Balikpapan

Gambar 3.3. menunjukkan distribusi flux pemanasan uap air (ΛE) di Balikpapan tahun 1998, sedangkan gambar 3.4 menggambarkan distribusi flux pemanasan uap air (ΛE) di Balikpapan pada tahun 2005.



Gambar 3.3. Flux pemanasan uap air Balikpapan 1998



Gambar 3.4. Flux pemanasan uap air Balikpapan 2005

Tabel 3.2. Latent Heat Flux pada tiap penutup lahan, Balikpapan

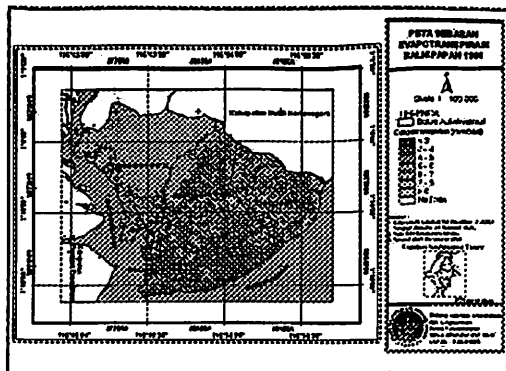
Jenis Lahan	LATENT HEAT FLUX		
	Minimum (W/m ²)	Maksimum (W/m ²)	Rata-rata (W/m ²)
Tubuh Air	181	219	200
Perkebunan	92	162	127
Industri	16	60	38
Pemukiman	16	45	30.5
Sawah	146	180	163
Lahan Tbk	5	48	26.5
Awan	109	214	161.5

Apabila sebaran latent heat flux (ΛE) (gambar 3.3. dan 3.4.) ini dioverlay dengan peta tutupan lahan hasil klasifikasi (gambar 3.1. dan 3.2.) maka akan terlihat bahwa ΛE tinggi akan terletak pada lahan yang bervegetasi atau berair dan ΛE rendah akan berada pada lahan terbangun dan lahan terbuka. Hal ini lebih jelas dapat dilihat pada tabel 3.2. yaitu besarnya Latent heat flux pada tiap jenis penutup lahan. Latent heat flux rata-rata ada pada jenis penutup lahan tubuh air yaitu 200 W/m², kemudian awan (161.5 W/m²), sawah (163 W/m²), perkebunan (127 W/m²), Industri (38 W/m²), pemukiman (30.5 W/m²), dan terakhir pada lahan terbuka (26,5 W/m²). Jadi jelaslah disini bahwa latent heat flux adalah energi untuk evaporasi dan transpirasi yang

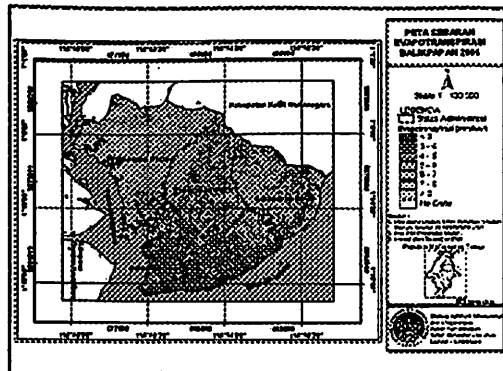
akan mempunyai nilai tinggi pada area bervegetasi atau berair, dan sebaliknya akan bernilai rendah pada lahan non vegetasi.

3.3. Distribusi Evapotranspirasi Balikpapan

Distribusi Evapotranspirasi Balikpapan hasil estimasi dari data satelit secara spasial ditunjukkan oleh gambar 3.5 (tahun 1998) dan gambar 3.6 (tahun 2005).



Gambar 3.5. Evapotranspirasi Balikpapan 1998



Gambar 3.6. Evapotranspirasi Balikpapan 2005

Dari gambar 3.5. dan 3.6. terlihat bahwa pola sebaran evapotranspirasi secara spasial di wilayah Balikpapan ini memperlihatkan pola yang hampir sama dengan klasifikasi penutup lahannya., yaitu evapotranspirasi tinggi terletak pada lahan bervegetasi atau berair dan sebaliknya akan bernilai rendah pada lahan kering atau non vegetasi. Hal ini diperjelas dengan tabel 3.3. yaitu nilai evapotranspirasi tertinggi ada pada lahan tubuh air dengan rata-rata 6,25 mm, kemudian awan dan sawah 5,6 mm, perkebunan 4,7 mm, pemukiman dan lahan terbuka 1,2 mm, dan terkecil ada pada lahan industri 1,1 mm.

Demikian juga apabila distribusi evapotranspirasi dibandingkan dengan pola sebaran latent heat flux terlihat ada kemiripannya, yaitu bahwa apabila nilai latent heat flux tinggi maka akan tinggi pula nilai evapotranspirasinya, demikian juga sebaliknya apabila latent heat flux rendah maka evapotranspirasinya akan rendah juga.

Tabel 3.3. Evapotranspirasi pada tiap penutup lahan, Balikpapan

Jenis Lahan	EVAPOTRANSPIRASI		
	Minimum (mm)	Maksimum (mm)	Rata-rata (mm)
Tubuh Air	5	7.5	6.25
Perkebunan	3.8	5.6	4.7
Industri	0.6	1.6	1.1
Pemukiman	0.9	1.5	1.2
Sawah	5.1	6.1	5.6
Lahan Tbk	0.9	1.5	1.2
Awan	3.8	7.4	5.6

4. Kesimpulan

Dengan teknik nisbah Bowen dan latent heat flux maka akan didapat nilai evapotranspirasi. Latent Heat Flux adalah energi untuk evaporasi dan transpirasi Monitoring Evapotranspirasi potensial (ETP) mempunyai implikasi penting dalam siklus hidrologi dan perkiraan perubahan lingkungan yang mempengaruhi hutan dan ekosistem pertanian. Untuk mengetahui pola sebaran latent heat flux maupun evapotranspirasi secara spasial maka teknik penginderaan jauh sangat tepat.

Total luas wilayah Balikpapan dari hasil klasifikasi adalah sekitar 50000 ha. Pada tahun

1998 wilayah Balikpapan didominasi lahan perkebunan, kemudian lahan terbuka, Pemukiman, Tubuh air, Industri), dan sawah. Sedangkan pada tahun 2005 wilayah Balikpapan masih didominasi lahan perkebunan, kemudian Pemukiman), Lahan terbuka, Industri, tubuh air, dan sawah. Lahan yang mengalami perluasan adalah hampir semua lahan yaitu tubuh air, sawah, perkebunan, pemukiman dan industri, sedangkan lahan terbuka mengalami pengurangan luas.

Nilai latent heat flux dan evapotranspirasi akan tinggi pada lahan yang bervegetasi maupun berair (perkebunan, tubuh air), dan sebaliknya akan rendah apabila berada pada lahan non vegetasi (lahan terbuka, pemukiman, maupun industri).

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis ucapkan kepada Yth. Ka.Pus Data Inderaja LAPAN Pekayon, Ka. Pufatsatklm, Ka. BAKL Juga kepada rekan-rekan yang ikut terlibat dalam penelitian secara langsung maupun tidak langsung baik yang ada di LAPAN Bandung, LAPAN Pekayon, IPB, ITB.

DAFTAR RUJUKAN

- Chow, V T., D.R. Maidment, L W. Mays, *Applied Hydrology*, 1988, McGraw-Hill, New York.
- Allen, R.G., Morse, A., Tasumi, M., Bastiaansen, W., Kramber, W., and Anderson, H. 2001. *Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for Water Right Management and Compliance with Multi-State water Compacts*. University of Idaho Kimberly, ID 83341.
- Chemin, Y.H. 2003. *Fusion Of Spatiotemporal Remotely Sensed Evapotranspiration By Data Assimilation For Irrigation Performance*. Asian Institute of Technology School of Advanced Technologies Bangkok, Thailand.
- Food And Agriculture Organization (FAO). 1998. *Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998
- Hurtado, E., Caselles, V. and Artigao, M.M. 1994. *Estimating Maize Evapotranspiration from NOAA-AVHRR Thermal Data in The Albacete area, Spain*. Int.J. Remote Sensing (15) 2023-2037.
- Ibanez, M., et.al., 1998, *A Simple Method for Estimating the Latent Heat Flux over Grass from Radiative Bowen Ratio*, Journal of Applied Meteorology Vol. 37, p. 387-392.
- Monteith, J.I dan Unsworth, M.H. 1990. *Principles of Environmental Physics 2nd edn*. Chapman and Hall, Inc. 29 West 35th Street, New York, NY 10001.
- Narasimhan, B and Srinivasan, R. 2002. *Determination of Regional Scale Evapotranspiration of Texas from NOAA-AVHRR Satellite. Final Report Submitted to Texas Water Resources Institute*. March, 5, 2002. Texas. USA.
- Ogawa, S., Murakami, T., Ishitsuka, N. and Saito, G. 1999. *Evapotranspiration Estimation From Fine Resolution NDVI*. National Institute of Agro-Environmental Science. Ibaraki - JAPAN.
- Qi, J. 1997. *Estimation of Evapotranspiration Over San Pedro Riparian Area with Remote Sensing and Insitu Measurement*. USDA-ARS Water Conservation Laboratory, Phoenix. Arizona. USA.
- Tursilowati, L., et.al., 2005, *Pemanfaatan Data Satelit Landsat untuk mengamati Fenomena Pulau Panas Perkotaan Cianjur Utara*, Berita Dirgantara, vol. IV, No.7., hal. 26-29.
- Tursilowati, L., 2005, *Pulau Panas Perkotaan akibat Perubahan Tata Guna dan Penutup Lahan di Bandung dan Bogor*, Jurnal Sains Dirgantara, vol. 3 no. 1, hal. 43-64.
- Yang, Xihua., Zhou, Q., and Melville, M.D. 1996. *Estimation Local Sugarcane Evapotranspiration Using Landsat TM Imagery*. Proceeding of 8th Australian Remote Sensing Conference. Vol. 2. Pp 262-269. Canberra. Australia.