



ISBN 978-979-18342-2-3

PROSIDING SEMINAR NASIONAL APLIKASI TEKNOLOGI PRASARANA WILAYAH Tanggal 28 Juli 2010

Tema :
Pembangunan Berkelanjutan dan Perawatan Infrastruktur
Berdasarkan Penelitian dan Pengalaman Praktis



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



PROSIDING SEMINAR NASIONAL APLIKASI TEKNOLOGI PRASARANA WILAYAH 2010

SUMBER DAYA AIR

- Pendayagunaan Sumber Daya Air Untuk Pengembangan Kawasan Pantura
Jawa Timur
Hadi Moeljanto, Anton Dharma PM C-1
- Water Balance Study And Analysis For The Pahang River Basin, Malaysia
Noordiah Helda C-7
- Identifikasi Kondisi Geologi, Hidrogeologi Dan Komponen Hidrologi Daerah
Aliran Sungai Bone Di Provinsi Gorontalo
Tatas C-21
- Analisa Peningkatan Kinerja Sistem Irigasi Kalibawang Kabupaten Kulonprogo
Daerah Istimewa Yogyakarta
M.Ardiansyah.FR, .Edijatno, Theresia Sri Sidharti C-31
- Spatial Jump (S-Jump) Analysis For Hydraulic Jump Under Sluice Gate
Sunik C-45
- Model Hidrolika Sungai Bone, Di Provinsi Gorontalo
Tatas, S. Kamilia Azis, Pudiastuti C-51
- Monitoring Well Sebagai Detektor Kwantitatif Dan Kualitatif Air Tanah Terkekang
Di Cekungan Air Tanah Pasuruan
Djoko Tri Yudianto C-57
- Analisis Tingkat Kekritisan Lahan Das Sampean Baru Menggunakan Integrasi
Remote Sensing Dan Geographic Information System
Gusfan Halik C-65

MANAJEMEN KONSTRUKSI

- Implementasi Perataan Sumber Daya Dalam Pelaksanaan Konstruksi Jalan Tol
Bogor Ring Road
Henry D-1
- Metode Pemilihan Alat Berat Pada Pekerjaan Tanah Proyek Pembangunan Jalan
Tol Simpang Susun Waru-Juanda
Djoko Sulistiono, Ami Asparini, Amalia Firdaus Maward, Selly Metekohy D-17

STUDI DAN ANALISIS *WATER BALANCE* DAS PAHANG, MALAYSIA

Noordiah Helda¹

¹ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat (UNLAM) Banjarmasin, Kampus :
Fakultas Teknik UNLAM Banjarbaru, Jl. A. Yani Km.36 Telp. (0511)4773858 E-mail :
noordiah_helda@yahoo.com

Abstract

An understanding of the water balance is extremely important for studies of the hydrological cycle. With water balance data, it is possible to compare individual sources of water in a system, over different space and time, and to establish the degree of their effects on variations in water regime. Knowledge of the water balance assists the water resources management. This research is mainly focused on the Pahang River Basin, which is the largest river basin in Peninsular Malaysia. The development of water balance analysis in this basin is essential. It will be an important tool towards analyzing the rainfall-runoff regime and water resources assesment of the humid tropical region, in particular the Pahang River Basin. The research deals with analysis of water balance and its components in a large-scale catchment using several methods. Some main analysis were conducted to approach the integration of water balance analysis: (1) preliminary water balance analysis, which had given a first estimation of average potential evaporation of 1221 mm/y and an RC value of 0.4; (2) potential evaporation analysis, which had concluded that the Penman-Monteith and the Makkink methods can be used for humid tropical areas, with potential evaporation of 1100 to 1500 mm/y. From the result analysis, it can be summarized that there is no significant difference results among methods. Assesments of water balance for whole basin are useful inputs for further hydrological and water balance studies, especially for humid tropical areas.

Keywords : water balance, water balance analysis, potential evaporation

1. Pendahuluan

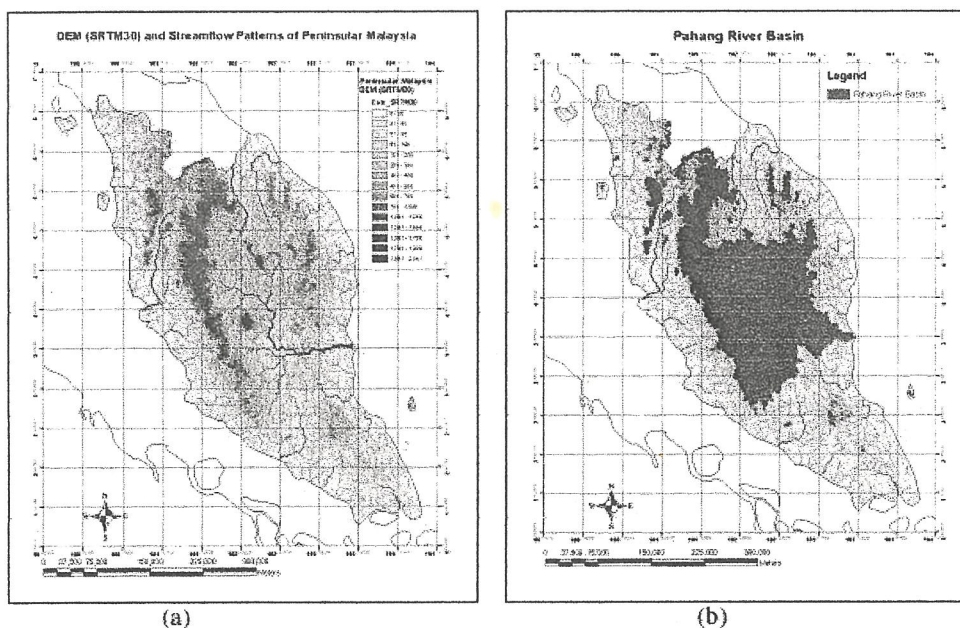
1.1. Latar Belakang

Sebagai salah satu subyek penelitian, analisis hidrologi banyak dilakukan sebelum perancangan suatu bangunan air. Menurut Dingman (2002), kemampuan untuk memahami dan memodelkan proses hidrologi di suatu benua dan dalam skala global menjadi penting untuk memperkirakan efek perubahan penggunaan lahan dan iklim secara luas. Di lain hal, pengetahuan tentang variasi hujan baik spatial dan temporal masih kurang, terutama di Malaysia (Ong dan Liam, 1986). Walaupun begitu, masih ada sedikit pengetahuan tentang karakteristik run-off pada hutan hujan tropis (Noguchi et al, 2005), tetapi masih terfokus pada *catchment* yang kecil. Oleh karena itu, studi tentang komponen *Water Balance* dengan melihat pada *catchment* yang lebih luas masih kurang.

Evapotranspirasi (ET) merupakan komponen penting *Water Balance* bagi hutan hujan tropis di daerah rendah (*lowland*), sehingga menjadi penentu bagi jumlah aliran air pada lingkungan seperti itu (Schellekens et al, 2000).

Penelitian ini difokuskan pada DAS Pahang (Gambar 1b), yang merupakan DAS terbesar (luas 29.300 km²) yang dilalui oleh Sungai Pahang (Gambar 1a) yang memiliki panjang 459 km di Semenanjung Malaysia. Sungai tsb berhulu di pertemuan Sungai Jelai dan Sungai Tembeling di Pegunungan Titiwangsa dengan meander mengarah ke tenggara, melewati Kuala Lipis, Temerloh, Chenor, Mengkarak kemudian berbelok ke timur di Lepar menuju Pekan, Kuala Pahang dan akhirnya mengalir menuju Laut China Selatan.

Pengembangan analisis *Water Balance* pada DAS ini penting sebagai sarana untuk menganalisis *rainfall-runoff regime* dan perkiraan sumber daya air pada daerah tropis, terutama DAS Pahang.



Gambar 1: a) River Network di Semenanjung Malaysia, b) DAS Pahang
(Sumber : di adopsi dari Wong, 2007)

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui *water balance* (dengan menganalisis komponen-komponennya) pada DAS Pahang, Malaysia, sehingga pemahaman tentang perilaku hidrologi pada daerah tropis semakin membaik.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Definisi-definisi Terkait

Teknik *Water Balance* (Sokolov and Chapman, 1974), merupakan satu dari subyek utama dalam hidrologi, merupakan cara pemecahan masalah bagi permasalahan hidrologi baik secara teoritis maupun praktis. Analisis awal digunakan untuk menghitung komponen *water balance* secara individual, dan mengkoordinasikan semua komponen dalam suatu persamaan kesetimbangan memungkinkan untuk mengidentifikasi kekurangan pada distribusi stasiun pengukur, dan juga menemukan kesalahan sistematis pada pengukuran. Akhirnya, studi *water balance* memberikan evaluasi tidak langsung bagi komponen *water balance* yang tidak diketahui (*unknown*) dari selisih komponen-komponen yang diketahui (misal : untuk evaporasi jangka panjang dari suatu DAS dapat dihitung dengan mengurangkan Hujan dengan Limpasan).

Analisis *Water Balance* (Sutcliffe, 2004) adalah suatu analisis dengan pendekatan teknik *water balance* yang paling mudah diaplikasikan pada daerah tropis yang lembab (*humid climate*), dimana transpirasi dapat diasumsikan hampir sama dengan PET (*Potential Evapotranspiration*).

Evapotranspirasi Potensial (Dingman, 2002) adalah laju evapotranspirasi yang terjadi pada suatu area yang luas secara sempurna dan seragam dengan penutupan vegetasi yang mempunyai akses ke suplai air tanah yang tidak terbatas, dan tanpa efek penyimpanan panas (*advection*). Jadi, bisa dikatakan bahwa evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi maksimum yang terjadi.

2.2. Persamaan Water Balance

Dengan menganggap suatu DAS dengan panjang waktu L_t , maka dapat ditulis persamaan *water balance* (Dingman, 2002) sbb:

$$P + G - (Q + ET + G_{in\ out}) = \Delta S \quad (1)$$

Dimana :

P = presipitasi, hujan (mm)

G_{in} = aliran air tanah yang masuk (mm)

Q = debit sungai (mm)

ET = evapotranspirasi (mm)

G_{out} = aliran air tanah yang keluar (mm)

ΔS = perubahan tumbungan (mm) dalam suatu periode waktu

Dalam analisis seperti ini, biasanya diasumsikan bahwa aliran air tanah dan ΔS diabaikan, jika diaplikasikan untuk periode waktu yang panjang (bertahun-tahun), sehingga persamaan 1 menjadi :

$$ET = P - Q \quad (2)$$

2.3. Evapotranspirasi Potensial (PET)

Dalam praktik, PET dihitung dengan beberapa metode. Pada penelitian ini, dibatasi pada metode yang paling umum digunakan dalam studi hidrologi (De Laat, 2002) sbb :

2.3.1. PET Kombinasi Penman-Monteith

$$ET_{P-M} = \frac{C s R_N + c_p \rho_a (e_a - e_d) / r_a}{L \left(s + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right)} \quad (3)$$

dimana:

C = Konstanta untuk mengubah satuan dari $\text{kg/m}^2\text{det}$ ke mm/hari ($C = 86400$)

L = panas laten dari penguapan air ($L = 2.45 \cdot 10^6$)

s = kemiringan kurva tekanan uap air jenuh vs suhu = $\frac{409 e_a}{(T_a + 237.3)^2}$

R_N = Radiasi netto pada permukaan bumi (W/m^2) = $(1 - r) R_s - R_{nL}$

c_p = panas spesifik udara (= 1004 J/kg/K)

ρ_a = rapat massa udara (= 1.207 kg/m^3 pada muka air laut)

e_a = tekanan uap air jenuh (kPa) = $0.6108 e^{\frac{17.27 T_a}{T_a + 237.3}}$

e_d = tekanan uap air aktual (kPa) = $e_a \cdot \text{RH}/100$

RH = kelembaban relatif

r_a = tahanan aerodinamis, merupakan fungsi kecepatan angin = $\frac{245}{0.5 U_2 + 0.5}$

γ = konstanta psychrometrik = $0.067 \text{ kPa}^\circ\text{C}$

Data radiasi global R_s lebih sering tersedia, tapi jika tidak, maka data tersebut dapat diperkirakan dari radiasi matahari yang diterima pada bagian luar atmosfer, radiasi R_A yang secara umum dapat ditulis:

$$R_s = (0.25 + 0.5 \frac{n}{N}) R_A$$

dimana :

n/N = lamanya sinar matahari aktual (jam) / lamanya sinar matahari yang mungkin (jam)

2.3.2. PET dengan basis Radiasi : Metode Makkink

De Laat, 2002, menyatakan bahwa jumlah evapotranspirasi bagi tanaman rumput dengan suplai air yang berlimpah, banyak ditentukan oleh tersedianya energi radiasi. Persamaan Makkink hanya didasarkan pada data radiasi global dan suhu, yang dapat ditulis:

$$ET_{Makkink} = CC_M \frac{s}{s + \gamma} \frac{R_s}{L} \quad (4)$$

dimana:

CC_M = konstanta Makkink = 0.65 = digunakan sebagai metode standar untuk memperkirakan PET tanaman rumput oleh Badan Meteorologi Belanda.

2.3.3. PET berbasis suhu : Blaney-Criddle

Metode Blaney-Criddle dapat diaplikasikan jika suhu udara rata-rata adalah satu-satunya data yang tersedia. Metode ini dikembangkan di Amerika Serikat untuk memperkirakan penggunaan air untuk tanaman perbulannya. Adapun rumusnya adalah sbb:

$$ET_{BC} = Kp (0.45 T_a + 8.13) \quad (5)$$

dimana:

ET_{BC} = PET Blaney-Criddle (mm/bulan)

K = Koefisien tanaman = 0.75 untuk rumput, 1.0-1.2 untuk padi

P = persentase bulanan banyaknya jam siang dalam setahun (jam)

T_a = suhu udara rata-rata bulanan (selama 24 jam rata-rata)

2.4. Evapotranspirasi Aktual (ETA) dengan menggunakan *Soil Moisture Accounting*

Prosedur sederhana (De Laat, 2006) mengasumsikan bahwa pada saat awal interval irigasi di zone perakaran berada pada Kapasitas Lapang (*Field Capacity*). *Available Moisture* (AM) didefinisikan sebagai:

$$AM = D_r (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \quad (6)$$

dimana:

D_r = kedalaman zone perakaran (mm)

θ_{FC} = moisture content saat field capacity ($\varphi = -100$ cm)

θ_{WP} = moisture content saat wilting point ($\varphi = -16000$ cm)

Fraksi p dari AM sudah tersedia (*Readily Available Moisture*, $RAM = pAM$), yang berarti selama pemakaian air oleh tanaman, evapotranspirasi aktual mempunyai nilai yang sama dengan evapotranspirasi maksimum atau evapotranspirasi potensial ($ETA = ET_m = PET$). Nilai p bergantung pada jenis tanaman dan kebutuhan akan evaporasi (E_{pot}) yang berkisar antara 0,2 – 0,8, tapi sering digunakan harga rata-rata 0,5.

Untuk kondisi pada saat waktu t , *actual moisture content*, M_t di zone perakaran mencapai nilai $(1-p)AM$, dapat diasumsikan bahwa evapotranspirasi relatif akan berkurang secara linier dari harga 1 sampai 0 ketika semua available moisture telah digunakan, sehingga : Untuk :

Untuk :

$$M_t \geq (1-p)AM \quad \text{maka} \quad \frac{E_{act}}{E_{pot}} = 1 \quad (7)$$

Untuk :

$$M_t \leq (1-p)AM \quad \text{maka} \quad \frac{E_{act}}{E_{pot}} = \frac{M_t}{(1-p)AM} \quad (8)$$

Persamaan *water balance* untuk zone perakaran dapat ditulis :

$$M_{t+1} = M_t + P_n + E_{act} - D \quad (9)$$

dimana:

P_n = hujan netto, dalam mm (hujan gross – intersepsi total)

D = drainase dari dasar zone perakaran ke *subsoil*, dalam mm

$$D = M_t - AM \quad \text{untuk} \quad M_t \geq AM \quad (10)$$

$$D = 0 \quad \text{untuk} \quad M_t \leq AM \quad (11)$$

Yang harus dicatat adalah untuk persamaan *water balance* di atas, *cappillary rise* diabaikan (dengan asumsi muka air tanah yang dalam) dan hujan netto (setelah dikurangi dengan intersepsi) masuk ke tanah (tidak ada run-off).

2.5. Ketersediaan Data

Untuk studi ini, data yang tersedia pada DAS Pahang dapat dilihat pada Tabel 1.

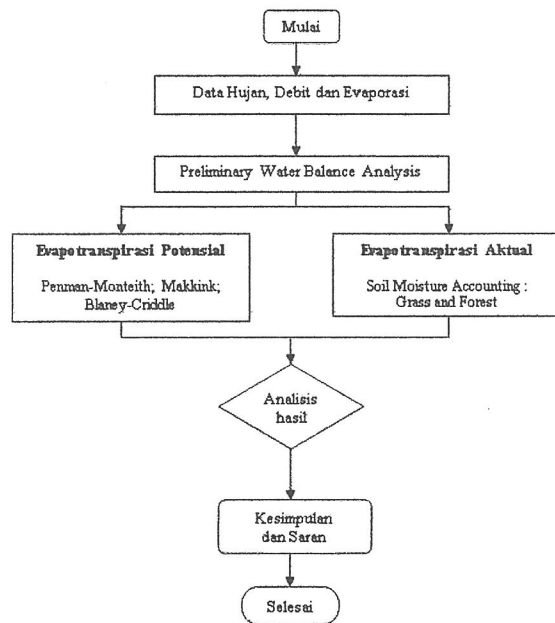
Tabel 1. Ketersediaan Data

No.	Data	Periode	Jumlah Stasiun	Lokasi/	Nama Stasiun	Sumber
1	Hujan harian	1985 -2004	8	Di dalam DAS (5) Di luar DAS (3)	Bukit Betong, Kg. Merting, Kg. Serambi, Lubok Paku dan Ldg. Mentakab. Kuantan, Malacca dan KL Subang	DID, NOAA
2	Run-off	1985 -2004	5	Di dalam DAS	Sg. Jelai B, Sg. Jelai A, Sg. Pahang C, Sg. Pahang B dan Sg. Triang	DID
3	Evaporasi	1985 -2004	12		Class A pan (6 stasiun) Raw data (6 stasiun)	DID NOAA

3. Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada perumusan masalah, studi pustaka, konsep dan pengetahuan yang didapatkan sebelumnya. Secara umum, dimulai dari studi pustaka, diikuti dengan persiapan data dan analisis dan diakhiri dengan penulisan laporan. Khusus untuk persiapan data, data meteorologi yang diperlukan diperoleh dari DID (*Department of Irrigation and Drainage, Malaysia*) dan NOAA website. Untuk memperoleh *catchment area, stream network* dan lokasi yang tepat bagi stasiun hujan, debit dan evaporasi, digunakan ArcGIS 9.2

Jalannya penelitian dan prosedur analisis data dapat dilihat dari bagan alir pada gambar 2 berikut:

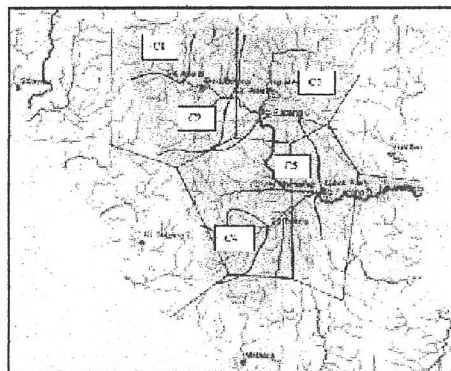


Gambar 2. Prosedur Jalannya Penelitian

4. Hasil dan Diskusi

4.1. Preliminary Water Balance Analysis

Penentuan hujan DAS pada studi ini didasarkan pada metode Poligon Thiessen. Garis-garis digambarkan untuk menghubungkan sembilan (9) stasiun hujan yang ada. Garis penghubungnya berpotongan tegak lurus untuk membentuk sebuah poligon setiap stasiunnya, yang dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan pada pembagian sub-DAS C1, C2, C3, C4 dan C5, maka perhitungan *weight* mengacu pada penentuan batas DAS dengan kombinasi Poligon Thiessen.



Gambar 3. Poligon Thiessen untuk setiap Sub-DAS

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa setiap sub-DAS mempunyai batas stasiun pengukur debit, sehingga dapat digambarkan batas sub-DAS (garis hijau) yang berdasarkan pada *water divide*. Setiap sub-DAS memiliki batasnya masing-masing. C5 merupakan area keseluruhan DAS, dimana stasiun pengukur debit berada pada bagian hilir sistem sungai Pahang. Perhitungan *weight* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Weight

Sub-catchments	Area (km ²)	Stations								Sum
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
		Siberegep	Kg. Merlong	Klaman	Kg. Serambi	Lubok paku	Ldg. Merangkap	KL. Sajakang	Malacca	
C1	1659	1	0	0	0	0	0	0	0	1
C2	6782	0.98	0.02	0	0	0	0	0	0	1
C3	13058	0.54	0.44	0.02	0	0	0.01	0	0	1
C4	1804	0	0	0	0	0	0.72	0.24	0.04	1
Whole Basin	24602	0.29	0.27	0.01	0	0.07	0.26	0.04	0.04	1

Sumber : diadopsi dari Helda, 2008

Hasil perhitungan untuk *Preliminary Water Balance Analysis* dapat dilihat pada Tabel 3. Dapat disimpulkan bahwa harga parameter *water balance* berada pada kisaran yang sama, kecuali pada sub-DAS C1. Hal ini dimungkinkan karena lokasi sub-DAS C1 yang terletak di kawasan Pegunungan Titiwangsa yang memiliki kemiringan yang terjal sehingga memberikan nilai RC (run-off coefficient) yang tinggi, sementara sub-DAS C4 terletak di dataran yang rendah (nilai RC cukup kecil).

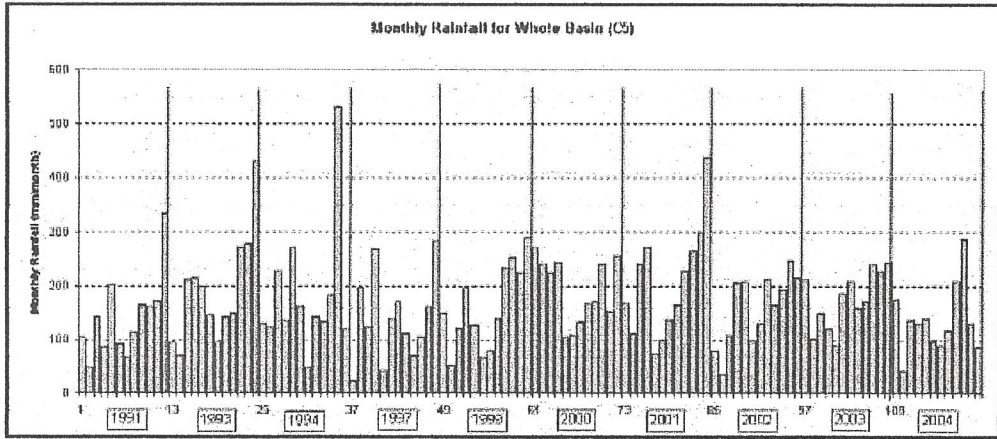
Tabel 3. Overview Analisis Statistik untuk semua Sub-DAS

No.	Parameters	Sub-catchments				
		C1	C2	C3	C4	Basin (C6)
		Sg. Jelai B	Sg. Jelai A	Sg. Pahang C	Sg. Triana	Sg. Pahang B
	Number of years	3	6	6	6	9
1	P (mm/y)					
	Min	1984	1533	1758	1903	1640
	Max	2485	2302	2573	2435	2487
	Mean	2232	2018	2125	2154	2036
	Stdev	256	272	312	194	317
2	R (mm/y)					
	Min	1774	670	640	626	642
	Max	2077	1225	1090	854	1212
	Mean	1942	835	920	754	816
	Stdev	154	186	160	84	229
3	P-R (mm/y)					
	Min	209	525	847	1168	970
	Max	410	1267	1002	1090	1572
	Mean	290	1063	1205	1400	1221
	Stdev	112	287	287	206	182
4	RC					
	Min	0.83	0.34	0.34	0.27	0.32
	Max	0.89	0.66	0.56	0.40	0.53
	Mean	0.87	0.47	0.44	0.35	0.40
	Stdev	0.03	0.11	0.08	0.05	0.07

Dari Tabel 3. dapat disimpulkan untuk setiap sub-DAS:

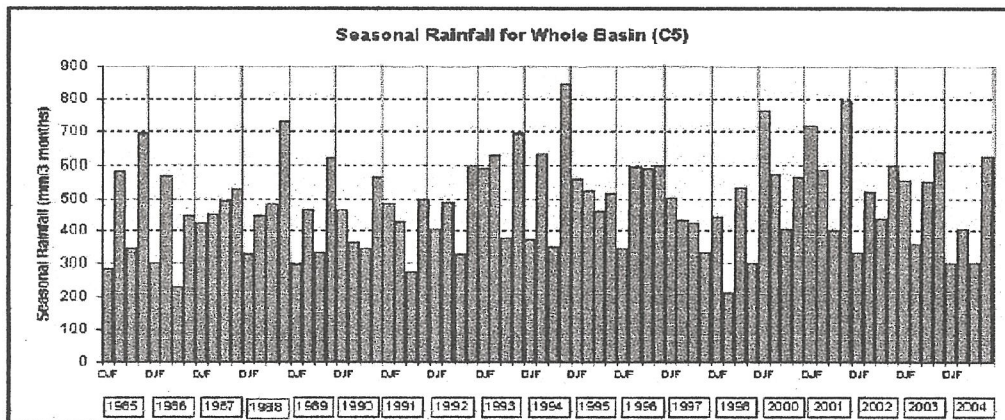
- Hujan, semua sub-DAS memiliki kisaran nilai hujan yang sama, yaitu 2000-2500 mm/tahun.
- Run-off, semua sub-DAS memiliki kisaran nilai run-off yang sama, yaitu 900 mm/tahun.
- Selisih hujan dan run-off merupakan PET dengan kisaran nilai 1200 mm/tahun.
- Nilai RC, semakin tinggi lokasi, semakin tinggi juga nilai RC.

Pada Gambar 4 ditunjukkan hujan bulanan untuk DAS C5 menurut tahun hidrologi yang telah dihitung sebelumnya. Bulan Desember merupakan bulan dimana curah hujan mencapai nilai tertinggi, kecuali pada tahun 1994, 2002 dan 2004. Nilai curah hujan bulanan ini dapat digunakan untuk menentukan curah hujan 3 bulanan yang dipilih. Pada studi ini, telah dipilih untuk memulai pada bulan Desember, Januari dan Februari yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Hujan Bulanan untuk DAS C5

Pada Gambar 5, dapat disimpulkan bahwa untuk semua tahun hidrologi memiliki trend yang sama, terdapat nilai maksimum dan minimum. Nilai maksimum terjadi pada Sep-Okt-Nov (SON), kecuali di tahun 1995 dan 2000. Nilai minimum hujan 3 bulanan terjadi pada bulan Jun-Jul-Agst (JJA) juga Maret-April-Mei (MAM).



Gambar 5. Hujan 3 bulanan untuk DAS C5

Pada Tabel 4 diperlihatkan perhitungan *water balance* 3 bulanan untuk C5. Hujan DAS total adalah 1928 mm/tahun, dengan hujan 3 bulanan minimum 404 mm/3 bulan yang terjadi pada bulan Jun-Jul-Agst (JJA) dan hujan 3 bulanan maksimum 590 mm/3 bulan yang terjadi pada bulan Sept-Okt-Nov (SON). Untuk run-off total adalah 816 mm/tahun yang terjadi pada bulan Des-Jan-Feb (DJF). Nilai selisih (P-R) dapat dipertimbangkan sebagai PET rata-rata untuk DAS tsb. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa hujan maksimum menghasilkan PET maksimum dan juga sebaliknya. Menurut Hickel dan Zhang (2006), pada basis hujan tahunan rata-rata, dalam kondisi yang benar-benar basah, E_t akan mendekati secara asimtotis PETnya. Untuk nilai RC, berkisar antara 0,38-0,54, dengan harga rata-rata 0,4, yang merupakan nilai RC untuk daerah tropis yang lembab. Semua nilai yang ada pada Tabel 4 ada dalam kisaran hujan dan evapotranspirasi tahunan yang terjadi di Semenanjung Malaysia (EPU, 1999). Juga berbanding lurus dengan negara tropis yang lembab lainnya seperti Amazonia, Brazil (yang merupakan satu dari DAS terbesar di dunia) yang memiliki hujan tahunan rata-rata 1930 mm/tahun dan evapotranspirasi tahunan 1430 mm/tahun (D'Almeida dkk, 2006).

Tabel 4. Overview Water Balance 3 bulanan untuk C5

No.	Parameters	Seasonal Rainfall				Sum (mm/y)	Number of Years
		DJF	MAM	JJA	SON		
1	P (mm/3months)					1928	19
	Min	284	215	227	304		
	Max	765	630	592	846		
	Mean	447	438	404	590		
	Stdev	141	107	97	137		
2	R (mm/3 months)					816	9
	Min	169	114	76	146		
	Max	437	350	155	402		
	Mean	270	195	115	236		
	Stdev	88	81	31	89		
3	P-R (mm/3 months)					1221	9
	Min	92	224	198	182		
	Max	423	407	432	538		
	Mean	245	313	278	385		
	Stdev	118	70	79	106		
4	RC					0.40 (-)	9
	Min	0.34	0.22	0.18	0.29		
	Max	0.74	0.61	0.41	0.58		
	Mean	0.54	0.38	0.30	0.38		
	Stdev	0.13	0.11	0.08	0.09		

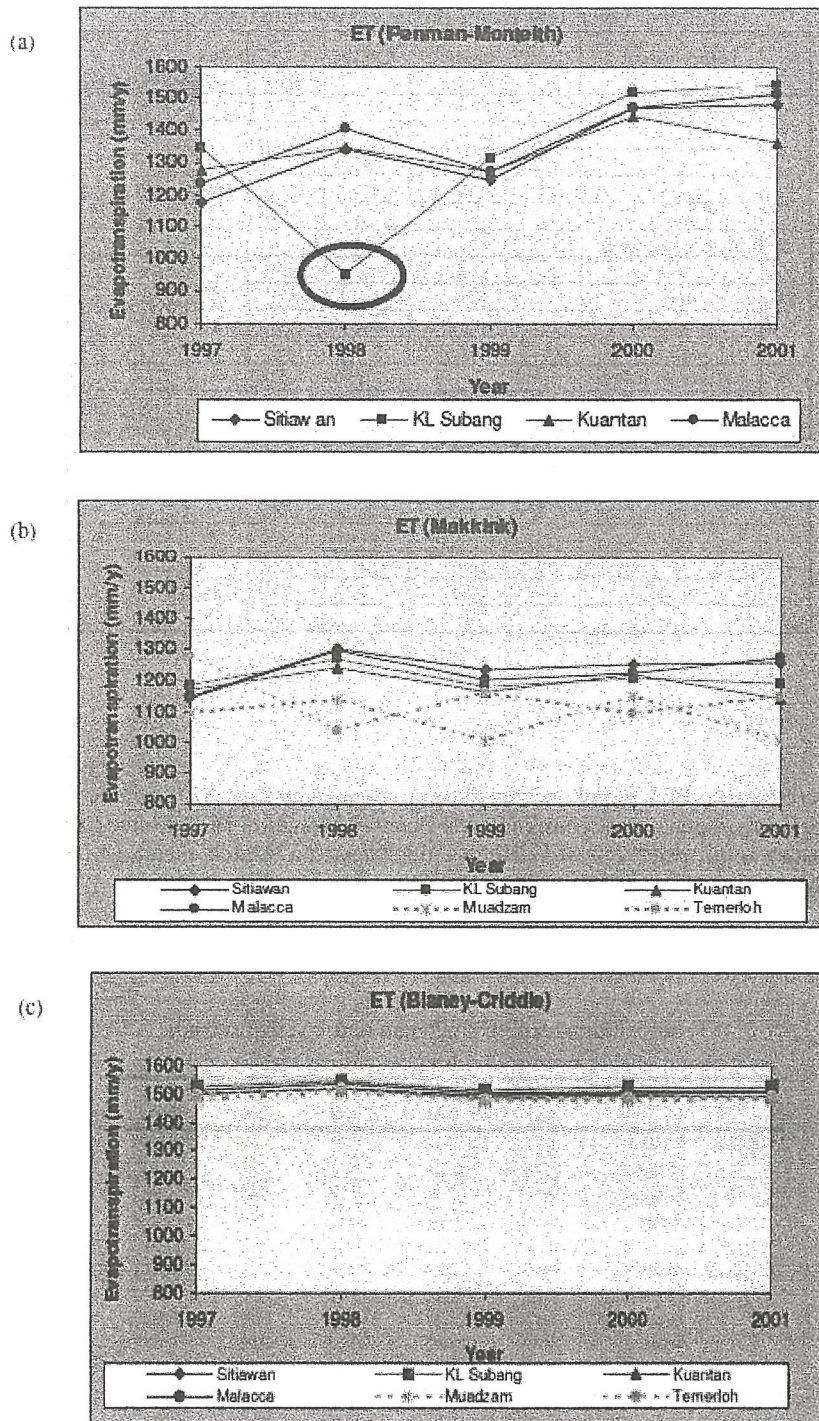
4.2. Analisis PET

Dalam perhitungan PET untuk setiap stasiun, digunakan tiga (3) metode seperti yang telah disebutkan pada metodologi penelitian. Untuk metode Penman-Monteith, PET dihitung untuk 4 stasiun saja, karena data kecepatan angin pada 2 stasiun lainnya tidak tersedia. Untuk metode Makkink dan Blaney-Criddle, semua stasiun yang ada dapat dihitung.

Tabel 5. menunjukkan *summary* PET tahunan dari data meteorologi yang didapat dari NOAA dan DID. Perbandingan ketiga metode dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 5. Summary PET tahunan untuk setiap stasiun

Methods	Stations	Year				
		1997	1998	1999	2000	2001
ET _{P-M}	Sitiawan	1176	1340	1246	1466	1476
	KL Subang	1348	953	1316	1516	1540
	Kuantan	1276	1346	1272	1442	1364
	Malacca	1233	1404	1272	1468	1508
ET _{Makkink}	Sitiawan	1148	1304	1236	1251	1261
	KL Subang	1185	1267	1179	1208	1192
	Kuantan	1169	1244	1164	1221	1144
	Malacca	1139	1299	1205	1224	1272
	Muadzam	1095	1137	1004	1146	1006
Temerloh	1278	1039	1157	1090	1146	
ET _{B-c}	Sitiawan	1498	1520	1493	1500	1508
	KL Subang	1525	1547	1514	1526	1527
	Kuantan	1500	1517	1482	1490	1491
	Malacca	1513	1537	1503	1507	1509
	Muadzam	1480	1506	1476	1478	1480
	Temerloh	1495	1518	1480	1485	1491



Gambar 6. Perbandingan nilai PET pada beberapa metode: a)Penman-Monteith b)Makkink c)Blaney-Cridle (Sumber : diadopsi dari Helda, 2008)

Dari Tabel 5 dan Gambar 6, dapat dijelaskan bahwa nilai PET yang dihitung dengan metode Penman-Monteith dan Makkink sesuai dengan PET untuk daerah tropis (DAS Pahang), dengan kisaran nilai 1100 s.d. 1500 mm/tahun, yang sesuai dengan PET dalam analisis water balance sebelumnya (1221 mm/tahun).

Sedangkan, metode Blaney-Criddle *over-estimate* nilai PET untuk DAS Pahang. Pada Gambar 6.(a), nilai PET (Penman-Monteith) pada tahun 1998 berada jauh dari data lainnya (ditunjukkan dengan bentuk oval merah), dapat dikatakan sangat jauh lebih kecil dari stasiun lainnya. Hal ini dimungkinkan karena banyaknya nilai kecepatan angin yang hilang pada tahun 1998 tersebut, yang tentunya mempengaruhi perhitungan PET metode Penman-Monteith yang diharapkan memiliki nilai lebih tinggi daripada stasiun lain, mengikuti trend seperti pada tahun yang lainnya untuk stasiun KL Subang.

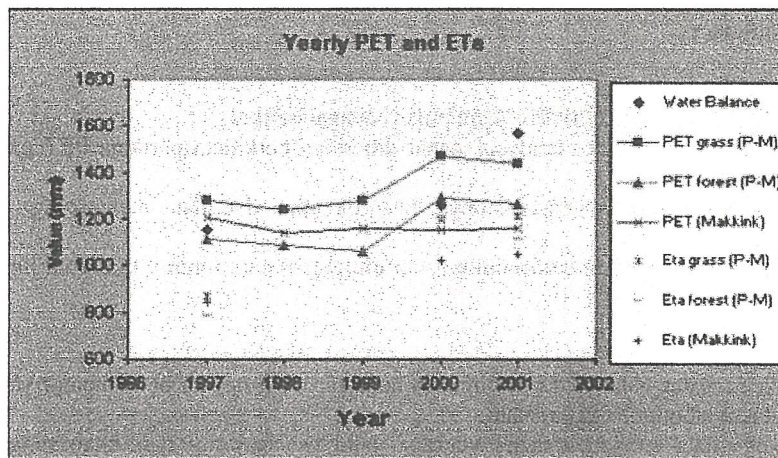
4.3. Analisis Eta

Dengan mempertimbangkan intersepsi, Eta dihitung dengan menggunakan model *soil moisture accounting*. Pada model ini, diambil asumsi jenis tanahnya berupa *sandy loam* (lempung berpasir). Kedalaman untuk zone perakaran dibedakan untuk daerah berumput (300 mm) dan hutan (1500 mm). Summary PET dan Eta dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Summary PET dan Eta Tahunan

Methods	Year					Average
	1997	1998	1999	2000	2001	
Water balance (mm/y)						
	1153			1259	1572	1328
Soil Moisture and Areal Evapotranspiration (grass)						
P-M (mm/y)						
ETpot	1281	1239	1281	1469	1438	1341
ETact	871			1200	1213	1095
Makkink (mm/y)						
ETpot	1203	1140	1162	1152	1157	1163
ETact	844			1022	1050	972
Soil Moisture and Areal Evapotranspiration (forest)						
P-M (mm/y)						
ETpot	1117	1087	1063	1291	1266	1165
ETact	787			1200	1116	1034

Dari Tabel 7 dan Gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai PET berkisar antara 1100 -1500 mm/tahun, dimana Eta berkisar antara 800 – 1200 mm/tahun. Secara umum, nilai PET lebih tinggi daripada Eta, namun pada perhitungan PET untuk rumput lebih tinggi daripada hutan, yang seharusnya adalah sebaliknya. Hal ini mungkin dikarenakan sensitivitas parameter yang terlibat (suhu dan kelembaban) dalam perhitungan PET Penman-Monteith.



Gambar 7. PET dan Eta tahunan

4.4. Summary

Dalam pengertian studi dan analisis *water balance*, penelitian ini mencoba untuk menggabungkan semua aspek dari komponen *water balance*. Nilai analisis tahunan rata-rata untuk semua komponen *water balance* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Overall Analisis Tahunan Rata-rata

Methods	P	R	PET	Eta	Ei
Preliminary Water Balance Analysis (mm/y)	1928	816	1221		
Potential Evapotranspirations (mm/y)					
(1) Penman-Monteith			1341		
(2) Makkink			1163		
(3) Blaney-Criddle			1503		
Rainfall Interception (mm/y) by Gash analytical model	2168				818
Actual Evapotranspiration (mm/y) by soil moisture accounting					
(1) Penman-Monteith					
(a) grass			1341	1095	
(b) forest			1165	1034	
(2) Makkink			1163	972	

Pada Tabel 9, ditunjukkan nilai tahunan rata-rata sebagai referensi (berhubungan dengan komponen *water balance*) dari beberapa literatur untuk Malaysia secara umum dan Semenanjung Malaysia secara khusus. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa hampir semua nilainya berada dalam kisaran nilai dari literatur. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa studi ini dapat digunakan untuk pengembangan di masa depan studi tentang *water balance* pada DAS Pahang khususnya dan Malaysia pada umumnya.

Tabel 9. Nilai Tahunan Rata-rata sebagai Referensi (dari literatur)

Sources	Location	Rainfall (P)		Runoff (R)	PET	ETa	Interception (Ei)	
		mm/y					mm/y	mm/y
		range	avg				range	avg
EPU (1999)	Perinsular Malaysia	500-3750	2500					
Nordin (2004)	Malaysia			870-2175				
EPU (1999)	Malaysia				1000-1600			
Schellakers, et al (2000)	Perinsular Malaysia						420-1050	702

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Dengan Preliminary water balance analysis, dapat diberikan perkiraan pertama PET pada DAS Pahang sebesar 1221 mm/tahun.
- Penman-Monteith lebih disukai pemakaiannya, jika diketahui data-data meteorologi yang tersedia di Indonesia.
- Dengan menggunakan soil moisture accounting, Eta diitung. Secara umum, Pet lebih tinggi nilainya dari ETa.

5.2. Saran

- Penggunaan analisis water balance dapat direkomendasikan bagi negara berkembang yang hanya sedikit memiliki peralatan laboratorium dan data.
- Dengan banyaknya data lengkap tentang vegetasi, land use dan soil type akan sangat berarti dalam perhitungan PET dan ETa.
- Studi lanjut tentang intersepsi perlu dilakukan dengan lebih banyak pengukuran dan pengumpulan data

seperti komponen-komponen intersepsi.

Terimakasih dan penghargaan ditujukan bagi Prof. Stefan Uhlenbroek dan DR. Raymond Venneker, sebagai pembimbing tesis S2 di UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands. Juga bagi NESO Jakarta atas dukungannya melalui beasiswa StuNed.

Referensi

- De Laat, P. J. M (2006), *Soil-Water-Plant Relations*, Lecture Notes, Unesco-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- D'Almeida, C., et al (2006), *A water balance model to study the hydrological response to different scenarios of deforestation in Amazonia*, Journal of Hydrology, 331,125-136.
- DID (1976), *Evaporation in Peninsular Malaysia*, Water Resources Publication No.5, Ministry of Agriculture Malaysia.
- DID (2003), *National Register of River Basin: Final Report of Updating condition of flooding in Malaysia*, Department of Irrigation and Drainage Malaysia.
- Dingman, S.L. (2002), *Physical Hydrology 2nd edition*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.
- EPU (1999), *Masterplan for the development of water resources in Peninsular Malaysia 2000-2050*, Economic Planning Unit, Kuala Lumpur.
- Helda, N. (2008), *Water Balance Study and Analysis for the Pahang River Basin, Malaysia*, M. Sc. Thesis, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- Hickel, K., and L. Zhang (2006), *Estimating the impact of rainfall seasonality on mean annual water balance using a top-down approach*, Journal of Hydrology, 331, 409-424.
- Noguchi, S., et al. (2005), *Runoff characteristics in a tropical rain forest catchment*, Journal Agricultural Research Quarterly (JARQ), 39(3), 215-219.
- Ong, C.Y., and W. L. Liam (1986), *Variation of rainfall with area in Peninsular Malaysia*: Water Resources Publication No. 17, Department of Irrigation and Drainage Malaysia.
- Schellekens, J., et al. (August 2000), *Evaporation from a tropical rain forest, Luquillo Experimental Forest, eastern Puerto Rico*, Water Resources Research 36, 2183-2196.
- Sokolov, A. A., and T. G. Chapman (1974), *Methods for water balance computations: An international guide for research and practice*, The UNESCO Press, Paris.
- Sutcliffe, J. V. (2004), *Hydrology: A question of balance*, IAHS Press.
- Wong, C. L. (2007), *Assesment and modelling of large-scale hydrological variability in Peninsular Malaysia*, PhD research proposal thesis, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.