

**PREDIKSI SUMBERDAYA AIR DI PULAU KECIL:
STUDI KASUS DI PULAU ROTE NUSA TENGGARA TIMUR**
*(Prediction of Water Resources in Small Island:
Case Study in Rote Island of East Nusa Tenggara Province, Indonesia)*

Nikodemus P.P.E. Nainiti*, Sahid Susanto, dan Putu Sudira****

* Program Studi Teknik Pertanian Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

** Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Abstrak

Studi ini bertujuan untuk memprediksikan ketersediaan air di pulau Rote yang kering di Nusa Tenggara Timur. Penelitian ini menggunakan model hidrologi yang dikembangkan oleh Vanden Beken and Byloos. Data yang digunakan adalah data hidrologi bulanan selama 6 tahun. Dalam model ini dikaji 5 parameter yakni (1) jenis vegetasi, (2) kondisi tanah, (3) koefisien permukaan, (4) perkolasi, dan (5) aliran air. Penelitian ini menemukan bahwa ketersediaan air sangat tinggi pada musim hujan, yaitu dari Desember sampai Maret, sementara itu ketersediaan air sangat sedikit pada musim kering yakni pada bulan April sampai Oktober.

Kata kunci: sumberdaya air, pulau kecil, model hidrologi.

Abstract

This study aims at predicting water resources availability in the small island having dry climate especially in Rote Island of East Nusa Tenggara Province. The Study applied the hydrologic model of Vanden Beken and Byloos. The hydrologic data used for analyzing were monthly data for the period of six years.

The parameters in the model include a1 (influenced by kinds of vegetation and soil characteristic), a2 (influenced by soil coarseness), a3 (coefficient of runoff), a4 (influenced by percolation), a5 (seepage to the river). The correlation coefficient, relative error, mass balance and T-test, were used to calibrate and validate the model. The parameters obtained were correlated to characteristics of ungaged watersheds to find out the volume of water of those watersheds. The statistical and graphical analysis for verification of the model indicated that the period of wet months are December to March, where water resources availability is very high, mean while it is very low during the dry months (April-October).

Key words: water resources, small island, hidrologic model.

I. PENGANTAR

Sumber air merupakan komoditas strategis yang harus dijaga kelestariannya karena permintaan berbagai kepentingan yang meningkat (Soediro dan Widaryanto, 1997). Pemanfaatannya harus didasarkan pada modifikasi siklus air dan keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan (Susanto, 1988).

Sumberdaya air sebuah pulau kecil dipengaruhi keterbatasan luas dan ekosistemnya yang tertutup.

Curah hujannya rendah kurang lebih 20% dari daratan didekatnya (Hehanusa, 1987). Ukuran luasnya kurang dari 2000 km² dan lebar minimal 10 km (Dale dan Folkland, 1990 cit: Hehanusa, 1995).

Penelitian dan pengembangan sistem manajemen penggunaan air DAS, di pulau-pulau kecil beriklim kering Nusa Tenggara Timur, belum banyak dilakukan karena keterbatasan data debit aliran di suatu wilayah sungai. Untuk maksud tersebut maka model hidrologi diperlukan dalam pengaliragaman data hujan menjadi aliran.

Model hidrologi dapat menggambarkan suatu proses fisis siklus hidrologi dengan cara menirukan peristiwa-peristiwa hidrologi yang terjadi (Linsley, 1982 cit: Susanto, 1991). Model hidrologi bervariasi dari sederhana hingga yang kompleks (Dooge, 1968; Clarke, 1973; Nemer, 1973 cit: Harto, 1993). Model hidrologi mengacu pada hukum konservasi massa (*law of mass conservation*), energi dan momentum sebagai satu kesatuan teoritis mencari nilai imbalan air (*water balance*) dengan konsep dasar daur hidrologi (*hydrologic cycle*) (Woolhiser, 1968 dan Sudira, 1989).

Analisis ketersediaan sumberdaya air dapat menggunakan model simulasi, probabilistik, statistik dan optimasi (Feldman, 1992 cit: Qomariyah dan Hermono, 1995). Prediksi limpasan pada suatu DAS sebaiknya dititik beratkan pada volumetris hubungan hujan-limpasan baik bulanan/tahunan karena lebih mudah analisisnya (Hartman, dkk, 1969; Blank dan Beer, 1968; Sing, 1968 cit: Hidayat, 1995). Salah satunya adalah model hidrologi Vander Beken dan Byloos (1977) (Susanto, 1995). Model ini sangat sederhana, mudah, sedikit anasir masukkan data, menggunakan persamaan yang sederhana dan dapat diandalkan untuk memprediksi debit aliran pada DAS-DAS berukuran kecil.

Berdasarkan asumsi tersebut maka penelitian untuk memprediksi sumberdaya air di pulau-pulau kecil beriklim kering di Nusa Tenggara Timur dilakukan dengan menggunakan model hidrologi telah yang dikembangkan oleh Vander Beken dan Byloos (1977) (Susanto, 1995).

Penelitian ini bertujuan memprediksi ketersediaan sumberdaya air di pulau kecil beriklim kering khususnya di Pulau Rote, Nusa Tenggara Timur. Hasil penelitian ini diharapkan sebagai informasi

untuk pengembangan sumberdaya air dalam pembangunan ekonomi dan sosial masyarakat, di samping sebagai acuan dalam penyusunan rencana umum tata ruang/pengembangan pulau kecil.

II. METODE PENELITIAN

1. Struktur Model Vander Beken dan Byloos

Bentuk umum persamaan keseimbangan air model Vander Beken dan Byloos (1977) cit: Susanto (1995) adalah:

$$\Delta S = N - VQ - R \dots\dots\dots (3-1)$$

Dimana: ΔS = Perubahan volume air dalam penyimpanan; N: Hujan efektif; V VQ = Limpasan air; R = Total kehilangan air karena perkolasi dalam (*deep percolatio*) dan tambahan air karena rembesan (*seepage*).

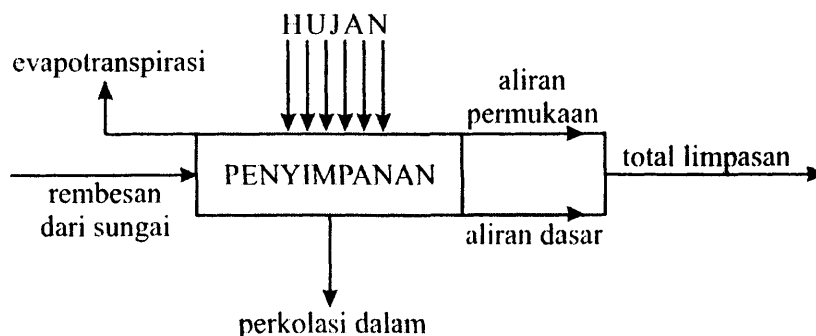
Secara skematis struktur model disajikan pada gambar 1.

a. Evapotranspirasi

Data yang dibutuhkan adalah Evapotranspirasi actual, dihitung dengan persamaan:

$$E_a = E_p [1 - \exp(-a_1 S)] \dots\dots\dots (3-2)$$

Dimana: E_a = Evapotranspirasi actual ; E_p = Evapotranspirasi potensial; a_1 = Parameter ($a_1 > 0$) dengan nilai awal 0.01 (parameter yang berkaitan dengan faktor jenis vegetasi dan sifat tanah); S = Simpanan air dalam tubuh DAS.



Gambar 1. Skema Model Vander Beken dan Byloos

b. Hujan Efektif

Bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$N = Vp - Ea \dots\dots\dots (3-3)$$

Dimana: V = Hujan efektif (N>0); Vp = Hujan keseluruhan

c. Aliran air limpasan (stream flow)

Persamaan yang digunakan untuk dapat menjelaskan aliran air limpasan adalah sebagai berikut:

$$Vq = a2S + a3N \dots\dots\dots (3-4)$$

Dimana: Vq = Aliran air limpasan; S= Simpanan; a2 = Parameter (0<a2<1) dengan nilai awal 0.27 (parameter yang berkaitan dengan faktor kekasaran tanah); a3 = Parameter (0<a3<1) dengan nilai awal 0.2 (parameter yang berkaitan dengan faktor limpasan).

d. Perlokasi

Persamaan adalah sebagai berikut:

$$R = Lp - Lc - \dots\dots\dots (3-5) \\ = a4 S - a5$$

Dimana: R = Perkolasi; a4 = Parameter yang berkaitan dengan faktor perkolasi, nilai awalnya 0.03; a5 = Parameter yang berkaitan dengan faktor rembesan air yang masuk ke dalam sungai, nilai awalnya 6.

2. Asumsi Model

Asumsi untuk penggunaan model adalah:

1. Potensi sumberdaya air dipertimbangkan pada semua DAS yang dimiliki dengan kondisi fisik DAS yang dianggap tetap selama periode kalibrasi.
2. Data hujan yang digunakan dianggap mewakili wilayah DAS yang ditinjau.
3. Hujan yang diterima DAS bersifat seragam dalam ruang dan waktu.
4. Komponen-komponen hidrologi yang dipertimbangkan dalam model merupakan suatu kesatuan utuh dari sistem hidrologi.

3. Cara Pendekatan

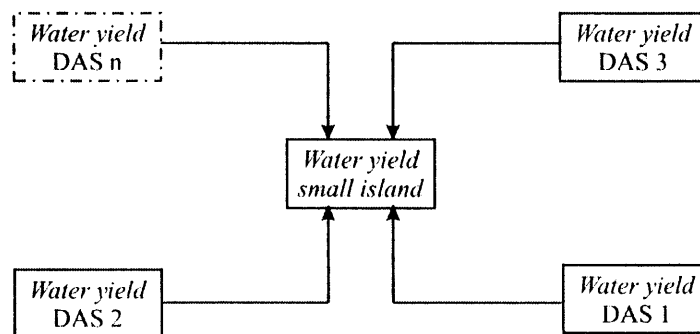
Secara skematis pendekatan yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.

4. Hitungan Simulasi dan Kebutuhan Data

Hitungan simulasi aliran sungai menggunakan komputer yakni program *power simulation*. Perhitungan dan analisis statistik menggunakan program Exel dan SPSS. Perhitungan Evapotranspirasi potensial dengan metode Penman menggunakan program *Cropwat FAO Rome 72*.

5. Validasi Model

Validasi atau kalibrasi dilakukan dengan kegiatan estimasi dan optimasi dalam penentuan dan mendapatkan nilai optimal parameter untuk menguji tolok ukur keberlakuan model dalam mem-



Gambar 2. Skema Pendekatan Model

bandingkan debit prediksi dan debit terukur secara grafis dan statistik.

Kriteria grafis yang digunakan adalah grafis seri waktu dan diagram pencar. Sedangkan ukuran statistik yang digunakan adalah koefisien korelasi (CC), dilakukan dengan membandingkan nilai terhitung dan nilai tabel, kesalahan relatif (RE) dengan batas ketelitian 10%, imbang massa (MB) dengan batas ketelitian 10% dan uji-T berpasangan, dilakukan dengan membandingkan nilai T hitung dan nilai T tabel.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kalibrasi dan Verifikasi Model

Hasil kalibrasi model terhadap nilai parameter optimal keempat DAS pusat tinjauan disajikan pada Tabel 1.

Hasil verifikasi model yang ditunjukkan dengan nilai-nilai tolok ukur keberlakuan model terhadap nilai parameter optimal model pada 4 DAS yang sama, dengan menggunakan data masukan tahun yang berbeda disajikan pada Tabel 2.

Nilai tolok ukur keberlakuan model CC yang didapat positif (mendekati 1). Hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan linier positif antara rerata debit terukur dan debit prediksi pada keempat DAS

tinjauan. Kenaikan debit terukur yang diikuti oleh kenaikan debit prediksi menunjukkan bahwa model yang digunakan nyata (signifikan), karena semua nilai Cchit. Lebih besar disbanding terhadap nilai Cctab. (0,05;22), sebesar 0,404 dan Cctab. (0,01;22), sebesar 0,515.

Nilai kesalahan relatif (RE) keempat DAS tinjauan, yang ditunjukkan pada Tabel 2. cukup kecil dan rata-rata mendekati 1, begitupun nilai imbang massa. Hal ini menunjukkan kedekatan keluaran model untuk debit prediksi dan debit observasi.

Hasil uji T-test berpasangan menunjukkan nilai T-hitung (T-hit) untuk keempat DAS tinjauan lebih kecil dari T-tabel (T-tab). Dari hasil uji T-test tersebut dapat dikatakan bahwa terjadi kedekatan hubungan yang nyata ($P < 0,01$) untuk keempat DAS yang ditinjau. Artinya antara debit pengamatan dan debit perhitungan tidak ada perbedaan ($P < 0,01$) untuk semua DAS tinjauan.

Hasil uji tolok ukur secara grafis seri waktu, menunjukkan debit prediksi dan observasi yang berdekatan dan adanya kecenderungan yang sama pada keempat DAS tinjauan. Sedangkan secara grafis diagram pencar, menunjukkan adanya perbedaan kecenderungan hasil prediksi terhadap rerata debit observasi terhadap garis estimasi dari keempat DAS

Tabel 1. Nilai Optimal Parameter Model Empat DAS Tinjauan

No	Nama DAS	Parameter				
		a1	a2	a3	a4	a5
1	Oenodale	0.0050	0.15	0.010	0.017	4.1
2	Oemokdale	0.0060	0.19	0.010	0.027	3.6
3	Oelebeu	0.0050	0.16	0.040	0.130	4.4
4	Oepapela	0.0065	0.22	0.016	0.025	3.8

Tabel 2. Rerata Debit Bulanan Volumetris Empat DAS Tinjauan

No.	Nama DAS	Rerata Debit Volumetris Bulanan		Tolok ukur keberlakuan model			
		Tkr (m3)	Prd(m3)	CC	RE	MB	Thit
1.	Oenodale	2288711	2192333	0.922	-0.183	0.042	0.515
2.	Oemokdale	1108014	1220875	0.942	0.385	0.102	-0.40
3.	Oelebeu	4749707	4033292	0.958	-0.740	0.151	2.294
4.	Oepapela	1771679	1931667	0.980	0.345	-0.09	-1.460

Keterangan : -CC : Koefisien korelasi; - RE : Kesalahan relatif,
 - MB : Imbang massa, Thit : T-test hitung, - Tkr : Debit terukur;
 - Prd : Debit prediksi

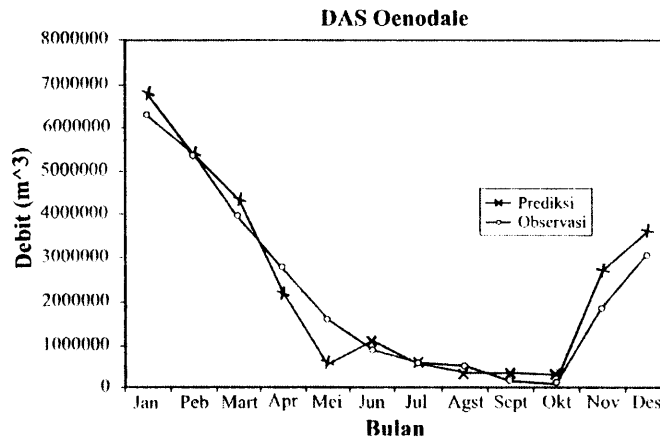
tinjauan. Artinya model yang digunakan significant (sesuai). Sebagai contoh disajikan hasil uji tolak ukur keberlakuan model pada DAS Oenodale pada Gambar 3 dan Gambar 4.

2. Hasil Air dan Pulau Rote

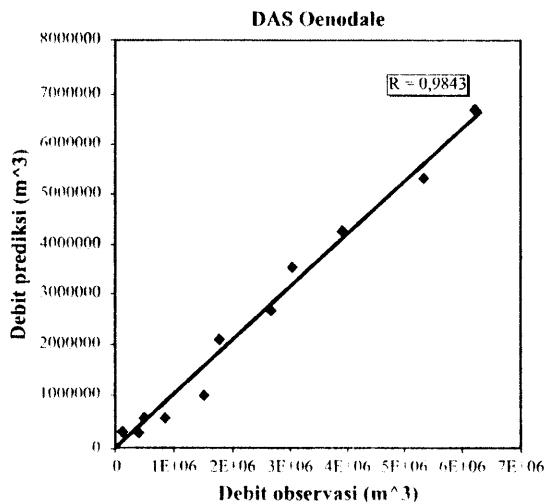
Hasil air di Pulou Rote merupakan total debit volumetric DAS terukur dan tidak terukur. Penentuan nilai parameter menggunakan program regresi berpangkat (power regression) terhadap persamaan-persamaan karakteristik fisik masing-masing DAS. Nilai parameter 24 DAS tak terukur disajikan pada Tabel 3.

Hasil verifikasi model terhadap total debit volumetric hasil air semua DAS yang berada di Pulau Rote (1998-1999), disajikan pada Tabel 4.

Secara umum total hasil air di Pulau Rote dipengaruhi oleh jumlah curah hujan wilayah yang terjadi pada pulau atau karakteristik DAS maupun pulau tersebut. Selain itu juga ditentukan oleh tingkat kekasaran tekstur tanah yang tidak terlalu berbeda, pergerakan air secara vertikal yang tinggi, produksi limpasan yang rendah, perkolasi dalam yang rendah dan rembesan air yang masuk tinggi. Terdapat DAS-DAS yang tidak beraliran mantap (kering) pada pertengahan hingga akhir musim kemarau (Agustus-Oktober). Hal ini dapat menyebabkan kritisnya hasil air di Pulau Rote pada rentang waktu tersebut.



Gambar 3. Grafik Seri Waktu Rerata Debit Bulanan Terukur dan Prediksi (m³) DAS Oenodale Hasil Verifikasi, Tahun 1998-1999



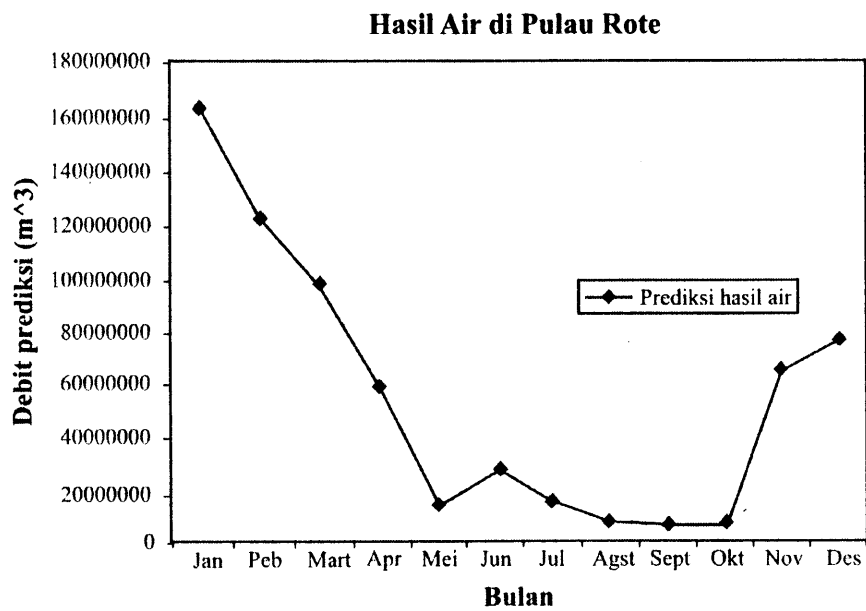
Gambar 4. Diagram Pencar Rerata Debit Bulanan Terukur dan Prediksi (m³) DAS Oenodale Hasil Verifikasi, Tahun 1998-1999

Tabel 3. Nilai Parameter 24 DAS tak Terukur

No.	Nama DAS	Parameter				
		a1	a2	a3	a4	a5
1	Oelekambu	0.005	0.457	0.001	0.156	1.725
2	Oekuli	0.17	0.372	0.001	0.182	1.930
3	Oehina	0.030	0.501	0.004	0.720	1.526
4	Oelu	0.071	0.738	0.004	0.093	1.211
5	Oemaok	0.010	0.396	0.002	0.812	2.392
6	Oeidek	0.062	0.623	0.003	0.862	1.461
7	Oebau	0.031	0.356	0.001	0.116	2.091
8	Oelenggale	0.014	0.232	0.001	0.051	3.239
9	Oeulu	0.014	0.370	0.001	0.133	3.112
10	Oelefae	0.029	0.550	0.374	0.374	2.909
11	Oekekehun	0.017	0.346	0.002	0.073	2.999
12	Oematalilo	0.008	0.211	0.0005	0.012	4.321
13	Oesuaha	0.022	0.220	0.0007	0.009	3.196
14	Oedale	0.005	0.698	0.002	0.902	2.975
15	Oekokadale	0.010	0.718	0.0003	0.188	2.175
16	Oesanetafa	0.007	0.473	0.001	0.040	2.685
17	Oesualain	0.004	0.336	0.0004	0.165	4.191
18	Oefeapopi	0.003	0.219	0.0008	0.005	4.135
19	Oeleina	0.013	0.540	0.001	0.084	2.285
20	Oenusakdale	0.004	0.239	0.0008	0.044	3.322
21	Oeulih	0.005	0.633	0.0004	0.216	1.632
22	Oebatuperahu	0.009	0.434	0.0004	0.052	2.028
23	Oetuasafu	0.002	0.177	0.0002	0.002	4.854
24	Oeingalado	0.003	0.232	0.0002	0.004	3.691

Tabel 4. Total dan Rerata Debit Volumetris Hasil Air di Pulau Rote (1998-1999)

No.	Nama DAS	Bulanan		Rerata Tahunan (m3)
		Total (m3)	Rerata (m3)	
1	Oelekambu	37880976	1576374	18940488
2	Oekuli	47537024	1968209	23618512
3	Oenodale	54929072	2288711	27464536
4	Oehina	79368459	3307019	39684230
5	Oelu	158757387	6614891	79378693
6	Oemaok	57374197	2390592	28687099
7	Oeidek	114605861	4775244	57302931
8	Oelebeu	113994106	9499509	56997053
9	Oebau	26209943	1092081	13104971
10	Oelenggale	36344586	1514358	18172293
11	Oeulu	14858073	619086	7429037
12	Oelefae	33153277	1381387	16576638
13	Oekekehun	43847835	1826993	21923917
14	Oematalilo	31865119	1327713	15932559
15	Oesuaha	19615878	817328	9807939
16	Oepapela	42520300	815816	21260150
17	Oedale	56497881	2354078	28248941
18	Oekokadale	38097001	1587375	19048501
19	Oesanetafa	29921138	1163381	13960569
20	Oesualain	38328863	1597036	19164432
21	Oefeapopi	27843149	1160131	13921574
22	Oeleina	25533362	1063890	12766681
23	Oenusakdale	25389867	1530411	12694934
24	Oeulih	22900271	1057911	11450135
25	Oemokdale	26592344	954177.9	13296172
26	Oebatuperahu	28197288	1174887	14098644
27	Oetuasafu	34048802	1418700	17024401
28	Oeingalado	25682985	1070124	12841493



Gambar 5. Grafik Seri Waktu Rerata Debit Prediksi Hasil Air Pulau Rote, Hasil Verifikasi Tahun 1998-1999

Total debit volumetrik hasil air di Pulau Rote, hasil verifikasi (1998-1999) adalah sebesar 1289595044 m³ dan rerata debit volumetrik air tahunan sebesar 644797523 m³. Rerata debit volumetrik hasil air bulanan sebesar 57949413 m³ dengan rerata debit volumetrik hasil air tertinggi bulan Januari yakni sebesar 162524969 m³ dan rerata debit volumetrik hasil air terendah terjadi pada bulan Oktober yakni sebesar 3535788 m³.

Secara grafis trend ketersediaan air/hasil air di Pulau Rote selama periode waktu 2 tahun (1998-1999) menunjukkan adanya ketersediaan air setiap bulan namun khususnya pada bulan-bulan basah (November-Maret) sangat tinggi sedangkan pada bulan-bulan kering (April-Oktober) sangat rendah. Grafik seri waktu prediksi hasil air di Pulau Rote disajikan pada Gambar 5.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan:

- a. Sumberdaya air (water resources) pulau kecil pada wilayah/daerah beriklim kering, kritis dan

ketersediannya tergantung kepada musim hujan dan musim kemarau yang dialami. Umumnya musim hujannya lebih pendek yakni berkisar antara 3-4 bulan sedangkan musim kemaraunya panjang yakni berkisar antara 8-9 bulan.

- b. Prediksi sumberdaya air dalam volumetrik di Pulau Rote Nusa Tenggara Timur berdasarkan dimensi satuan wilayah sungai yang dimiliki, untuk periode 2 tahun pengamatan (1998-1999) total ketersediaannya sebesar 1289950044 m³, dengan rata-rata bulanan tertinggi pada bulan Januari yakni sebesar 162524969 m³ dan terendah terjadi pada bulan Oktober yakni sebesar 3535788.3 m³.

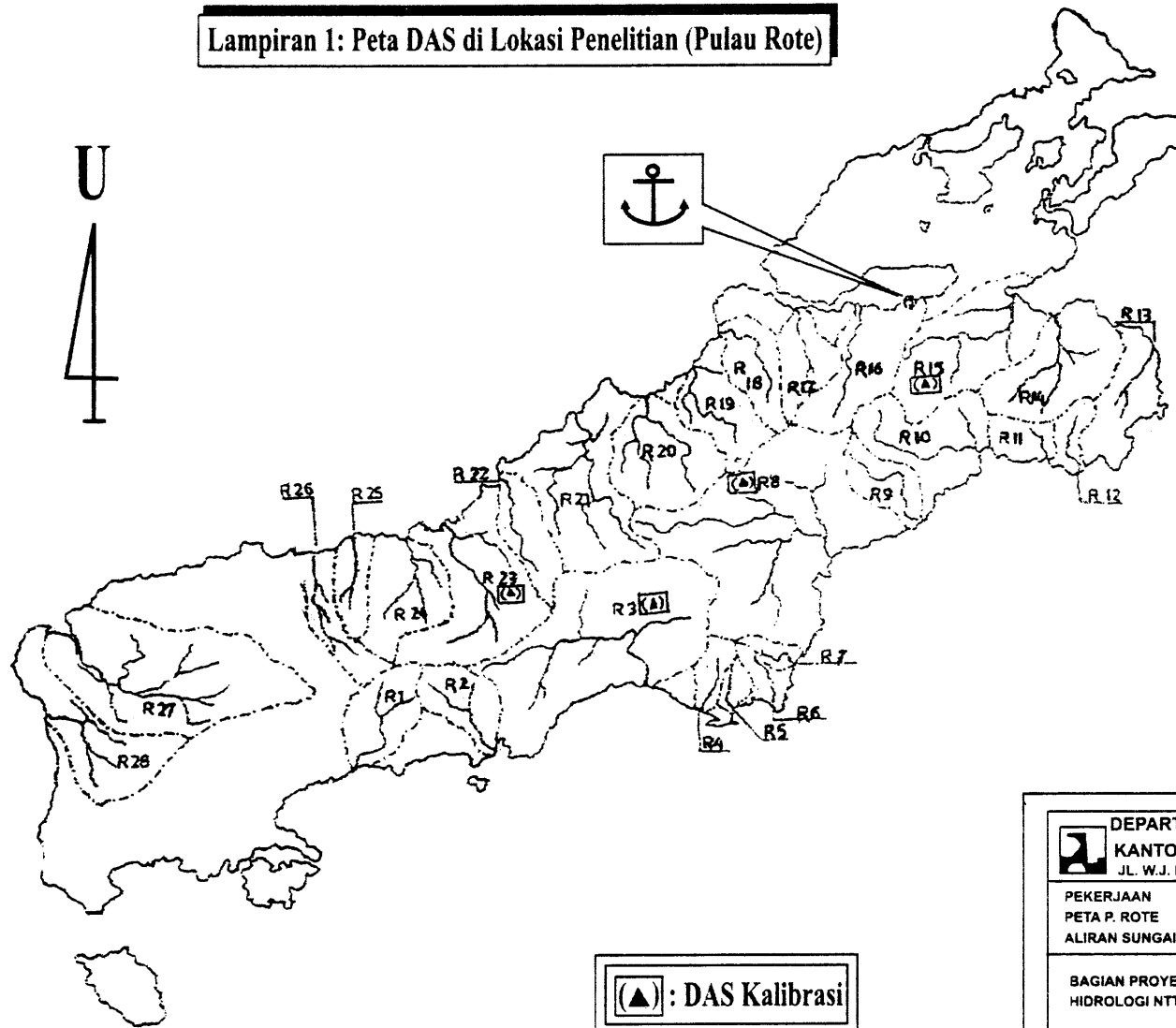
2. Saran

- a. Penelitian lanjutan dalam kaitan dengan laju perubahan dimensi satuan wilayah sungai akan sangat membantu dalam pengelolaan dan pengembangan hasil air di pulau kecil.
- b. Manipulasi siklus hidrologi yang maksimal untuk wilayah tropis khususnya pulau-pulau kecil di daerah semi arid perlu dilakukan khususnya pengembangan sumberdaya air dalam satuan dimensi sungai.


DAFTAR PUSTAKA

- Harto Br, S., 1993. Analisis Hidrologi. Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Anggota IKAPI, Jakarta.
- Hehanusa, P.E., 1987. Sumberdaya Air di Pulau Kecil, Riset Geologi Dan Pertambangan, V.1 Jilid 8, Bandung.
- _____, 1995. Konsep Dasar Pengelolaan Sumberdaya Air di Pulau Berukuran Kecil, Puslitbang Geoteknologi-LIPI, Bandung.
- Hidayat, L., 1995. Analisa Kepekaan Model Hidrologi Pada Berbagai Karakteristik DAS, Tesis S-2, Fakultas Teknologi Pertanian, Program Studi Mekanisasi Pertanian, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Qomariyadi, S. dan Haemono, S.B., 1995. Analisa Sistem Dalam Perencanaan Dan Pengembangan Sumberdaya Air. Puslitbang Pengairan Dep P.U. (Balai Penelitian Sungai), Surakarta.
- Sudira, P., 1989. Runoff Prediction Model Based On Soil Moisture Analysis. Disertasi PhD, Univ. Of Philippines di Los Banos Philippines (Unpublish).
- Susanto, S., 1988. Sumberdaya Air Di Indonesia, Penerbit Liberty Yogyakarta.
- _____, 1991. Tropical Hydrology Simulation Model-1 for Watershed Management. Disertasi S-3, Universitas Kyoto, Japan (Tidak Dipublikasikan).
- _____, 1995. Model Produksi Air Dan Pengembangan Penyediaan Air. Workshop on Water Management, IDP Australia and Jenderal Sudirman University. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Soediro dan Widaryanto, 1997. Pengelolaan Satuan Wilayah Sungai Kali Brantas; suatu Hasil Studi Jawa Timur. Pusat Penelitian Pengembangan Pedesaan Dan kawasan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Lampiran 1: Peta DAS di Lokasi Penelitian (Pulau Rote)



No	Nama DAS
R 28	Oeingalado
R 27	Oetuasafau
R 26	Oebatuperahu
R 25	Oeuilih
R 24	Oenusakdale
R 23	Oemokdale
R 22	Oeleina
R 21	Oefeaspopi
R 20	Oesualain
R 19	Oesanatafa
R 18	Oekokadele
R 17	Oedale
R 16	Oesuaha
R 15	Oepapela
R 14	Oematalilo
R 13	Oekehun
R 12	Oelefae
R 11	Oeulu
R 10	Oelenggale
R 9	Oebau
R 8	Oelebeu
R 7	Oeidek
R 6	Oemok
R 5	Oelu
R 4	Oehina
R 3	Oenodale
R 2	Oekuli
R 1	Oeekambu

 DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM KANTOR WILAYAH PROPINSI NTT JL. W.J. LALAMENK NO. 20 KUPANG 85111		
PEKERJAAN PETA P. ROTE ALIRAN SUNGAI	PROPINSI NUSA TENGGARA TIMUR KABUPATEN KUPANG	
BAGIAN PROYEK HIDROLOGI NTT	SKALA: 1:250.000	

 : DAS Kalibrasi