

PENYUSUNAN ALTERNATIF PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR TAWAR DI PULAU NUNUKAN BERBASIS DATA INDERAJA DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

F. Sri Hardiyanti Purwadhi, dan Nanik Suryo Haryani
Peneliti Pusat Pengembangan Pemanfaatan dan Teknologi Penginderaan Jauh, LAPAN

ABSTRACT

This paper explores some of the experiences of freshwater resources management alternative in Nunukan Island, using remote sensing technologies and geographic information system. Freshwater resources in many small islands depend upon the rainfall. Nunukan island is a small island with problems of freshwater severe. Nunukan Island have very high population densities in the urban area that place great stress on their water resources. The main influences on the natural freshwater resources are physiography, climate, rainfall, evapotranspiration, and geological conditions. Freshwater resources management alternative in this study base on approach of water resources balance i.e. groundwater prediction, integrated river and basin management, augmenting freshwater for indicate water supply, and water efficiency for general purposes.

ABSTRAK

Paper ini merupakan hasil penelitian dan pengalaman peneliti dalam membuat alternatif pengelolaan sumber daya air tawar di Pulau Nunukan, menggunakan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. Pulau-pulau kecil biasanya hanya menggantungkan sumber daya air tawar dari curah hujan. Pulau Nunukan merupakan pulau kecil yang mempunyai problem keterbatasan penyediaan air tawar. Pulau Nunukan dengan penduduk yang padat di perkotaan, sehingga tuntutan kebutuhan akan sumber daya air tawar semakin meningkat. Potensi sumber daya air tawar suatu wilayah dipengaruhi oleh kondisi fisiografi, iklim, curah hujan, evapotranspirasi, dan geologi. Alternatif pengelolaan sumber daya air tawar dalam penelitian ini menggunakan pendekatan neraca sumber daya air, yaitu taksiran penyediaan air tanah, integrasi antar pengelolaan sungai dan cekungan, kemungkinan penambahan untuk penyediaan air, dan efisiensi kebutuhan penggunaannya.

Kata kunci : *Sumber daya air tawar, Pulau-pulau kecil*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air adalah salah satu sumber daya alam yang sangat berharga untuk kehidupan di muka bumi. Air merupakan unsur sumber daya dan lingkungan fisik. Manfaat air dapat bersifat biologis maupun energi untuk menunjang kehidupan manusia. Air sangat bermanfaat tetapi juga dapat menjadi tenaga perusak. Curah hujan dan aliran air yang berlebihan dapat menyebabkan tanah tererosi dan mengendap di tempat

lain (sedimentasi), atau lebih parah dapat mendatangkan banjir, sehingga menyebabkan kerugian harta maupun nyawa. Air di Bumi berada dalam gerakan dinamis yang disebut daur/siklus hidrologi. Daur atau siklus hidrologi ini merupakan istilah untuk menjelaskan sirkulasi air yang meliputi gerakan mulai dari laut ke atmosfer (penguapan), dari atmosfer ke tanah/daratan (curah hujan), dan kembali lagi ke laut (aliran air). Daur hidrologi mempunyai penyebaran tidak merata di permukaan Bumi menurut ruang dan waktu (Nihoul, 1984). Hal itu disebabkan

oleh kondisi lingkungan fisik setiap wilayah berbeda-beda yang menyebabkan perbedaan proses hidrologi dan kondisi sumber daya airnya. Variasi tersedianya air tanah di suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh lingkungan fisik, yaitu kondisi geologi (struktur, stratigrafi, dan jenis batuan), topografi, geomorfologi lahan (bentuk lahan), dan kondisi iklim (JICA, 1985). Berdasarkan hal tersebut, maka pengelolaan sumber daya air tawar perlu menggabungkan berbagai aspek fisik dan sosial ekonomi wilayah.

Ketersediaan air pada suatu pulau yang memiliki sungai-sungai kecil diperlukan data debit aliran rendah yaitu debit rata-rata saat sungai tidak mengalami banjir, untuk waktu yang cukup lama (misalnya 20 tahun). Permasalahan yang timbul dalam analisis ketersediaan air adalah data debit, yang seringkali hanya tersedia beberapa tahun atau bahkan seringkali tidak ada. Data debit sungai pada tahun yang tidak ada pengukurannya dapat diperoleh dengan membangkitkan data debit atas dasar hubungan hujan-limpasan (*rainfall runoff analysis*), sehingga debit bulanan rata-rata dapat dihitung dengan model matematik yang sering digunakan, yaitu model NRECA (Conford, 1985). Model ini relatif sederhana dengan empat parameter, yaitu hujan, evapotranspirasi, limpasan langsung (*runoff*) dan limpasan bawah tanah (*baseflow*).

Model NRECA yang akan diterapkan dalam sebagian rancangan model, namun mengingat wilayah penelitian (Pulau Nunukan) tidak mempunyai data debit hasil pengukuran yang dapat dijadikan data dalam proses kalibrasi dan verifikasi dalam model NRECA, maka sebagian besar (70%) parameter model data masukan NRECA diperoleh dari analisis citra penginderaan jauh. Parameter model NRECA yang biasa dilakukan oleh peneliti lain menggunakan data pengukuran lapangan dan data statistik. Sedangkan pada penelitian ini data fisik (penutup lahan, bentuk lahan, kualitas air permukaan), karakteristik DAS (luas, panjang, kerapatan sungai, lereng

rata-rata), serta pengukuran lengkung sungai untuk menentukan genangan air, limpasan dan ketersediaan air diperoleh dari citra penginderaan jauh.

Pulau Nunukan terletak di perbatasan utara wilayah Indonesia, yakni berbatasan dengan Sabah, Malaysia Timur. Pulau Nunukan sejak krisis tahun 1998, penduduknya meningkat terus, terutama sebagai transit TKI yang akan ke Malaysia. Kondisi tersebut berakibat meningkatnya tuntutan kebutuhan akan sumber daya air tawar. Sesuai UU No.22/1999 pasal 10 ayat 1, bahwa daerah berwenang mengelola sumber daya nasional (sumber daya alam, sumber daya buatan dan sumber daya manusia) yang tersedia di wilayahnya dan bertanggung jawab memelihara kelestarian lingkungan. Kelangkaan air tawar di Pulau Nunukan pada musim kemarau, merupakan suatu tantangan bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Nunukan dalam pengelolaan sumber daya air tawar.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian menyusun alternatif pengelolaan sumber daya air tawar di Pulau Nunukan menggunakan strategi neraca air pada periode waktu tertentu berbasis data penginderaan jauh dan sistem informasi geografis.

2 METODOLOGI

Metodologi dalam rancangan penelitian dalam penyusunan alternatif pengelolaan sumber daya air tawar di Pulau Nunukan menggunakan strategi neraca air, yaitu keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air, yang sebagian besar parameter model dianalisis dari citra penginderaan jauh. Pelaksanaan kerja mencakup pengumpulan data, manajemen basis data, pengolahan dan analisis data, dan penyusunan alternatif pengelolaan sumber daya air tawar di Pulau Nunukan.

2.1 Rancangan Model

Rancangan model (Gambar 2-1) pengelolaan sumber daya air di pulau

kecil berbasis data penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. Metode analisis potensi sumber daya air untuk menyusun alternatif pengelolaan sumber daya air tawar di Pulau Nunukan pada penelitian ini dilakukan dengan strategi neraca air dan pendekatan geografis. Metode pendekatan geografis yang analisisnya ditekankan secara kuantitatif, dengan pendekatan analisis regional kompleks pulau kecil. Analisisnya merupakan hasil sintesis dari analisis keruangan dan analisis sosial dan ekologis. Rancangan model sesuai ruang lingkup pekerjaan, dibagi empat tahapan, yaitu

- Interpretasi data penginderaan jauh mengenai obyek permukaan Bumi, yaitu klasifikasi penutup lahan, bentuk lahan, litologi, tanah, badan air, deteksi sebaran kekeruhan, dan polusi bahan anorganik dan organik,
- Prediksi ketersediaan sumber daya air dari hasil interpretasi, yakni
 - Identifikasi hubungan antara litologi, struktur batuan, dan kondisi air,
 - Perkiraan pola akifer setiap unit morfologi, stratigrafi, perhitungan lengkung sungai,
 - Prediksi timbunan air dari asosiasi tanah, vegetasi, penutup lahan,
 - Penentuan karakteristik DAS (luas, panjang, lereng, kerapatan sungai) untuk menentukan ketersediaan air dan limpasan (*run-off*),
 - Prediksi air tanah Pulau Nunukan perhitungan hidrologi.
- Analisis data lapangan dan data sekunder, yaitu
 - Curah hujan dan intensitas hujan periode 10 tahun,
 - Debit air sungai rata-rata/tahun,
 - Perhitungan Evapotranspirasi,
 - Ketersediaan dan kebutuhan air.

2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk kepentingan analisis potensi sumber daya air dan model pengelolaan berupa data spasial dan data non spasial, yaitu

- Data spasial bentuk raster dan vektor. Data raster dari penginderaan jauh satelit adalah Citra SPOT 5 tanggal 21 April 2006 (Gambar 2-2). Data vektor dari peta tematik dan survei lapangan, yaitu bentuk lahan, lereng, batuan, iklim, hidrologi,
- Data non spasial dari data sekunder berbentuk tabular dan data primer hasil pengisian kuesioner, mencakup data ekonomi, sosial, suhu, angin, iklim.

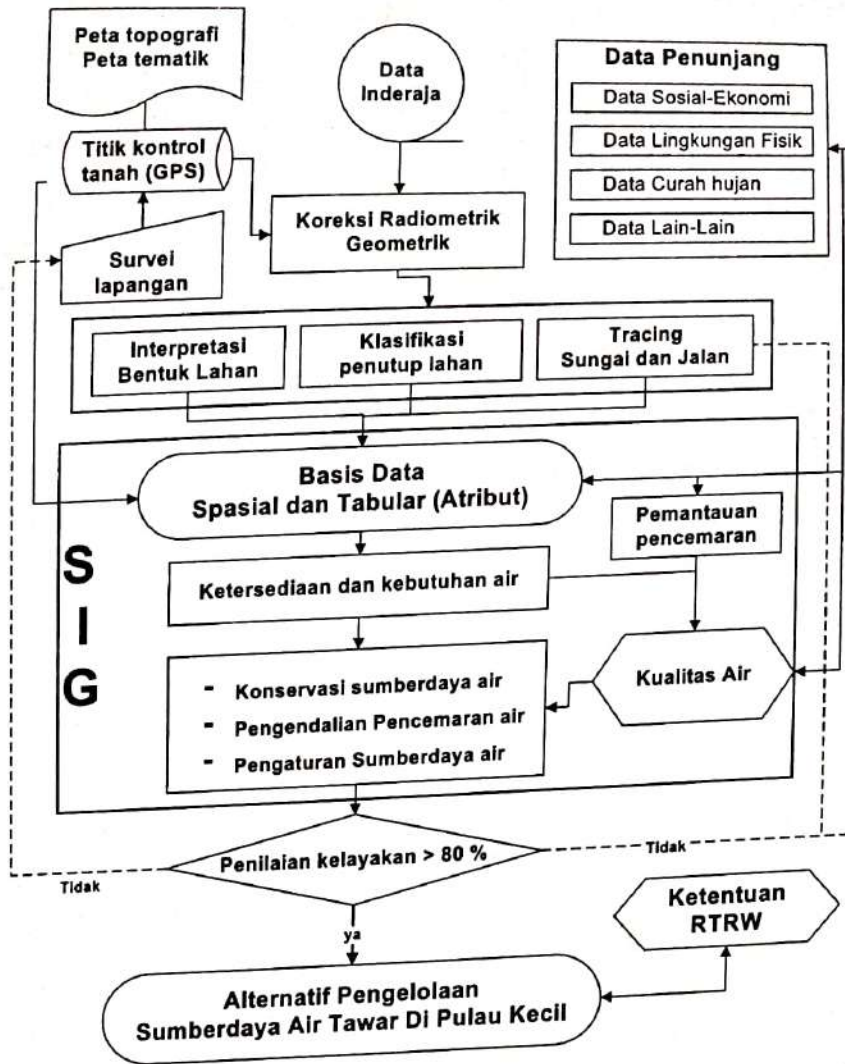
2.3 Manajemen Basis Data

Manajemen basis data (*data base*) untuk penilaian potensi sumber daya air untuk pembuatan model pengelolaan sumber daya air berbasis data penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG). Basis data SIG merupakan data geografis permukaan bumi, strukturnya meliputi posisi dan hubungan topologis, berupa data spasial dan non-spasial (Marble et al., 1984). Manajemen basis data yang dikumpulkan, dimasukkan, dikonversi, diklasifikasikan, disunting, ditransformasi, dan disusun dalam basis data dengan metode keruangan (*spatial*).

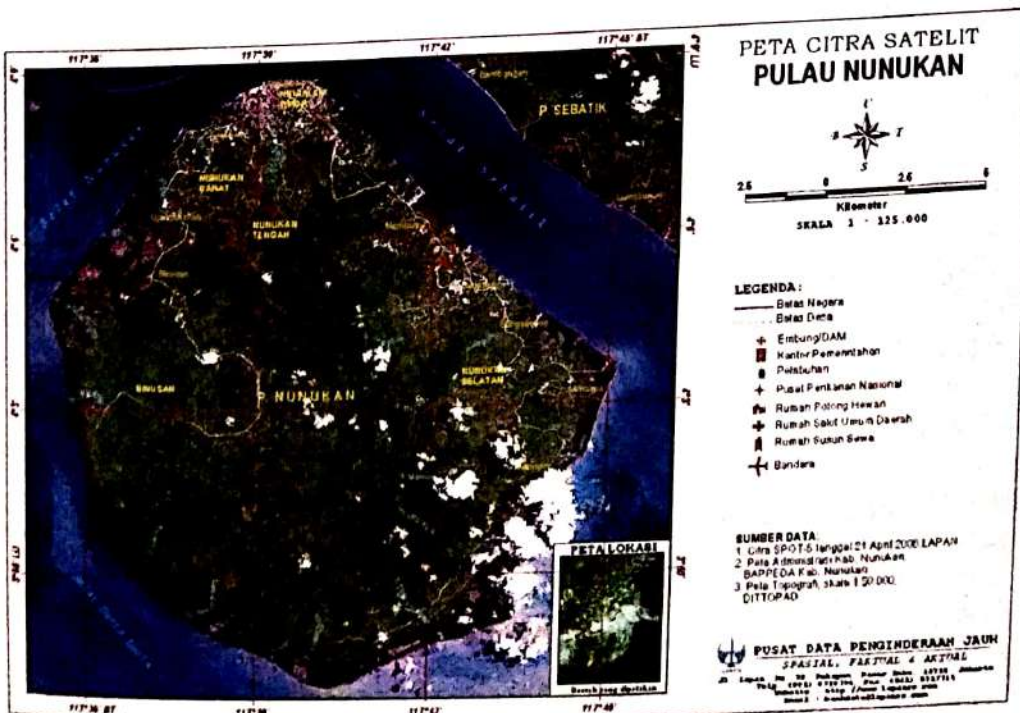
2.4 Model Pengelolaan Sumber Daya Air/SDA

Model pengelolaan sumber daya (SD) air dibuat dengan kriteria perhitungan neraca air NRECA (Conford, 1985). Ketersediaan dan kebutuhan sumber daya air di pulau kecil, yaitu:

- Apakah model pengelolaan sumber daya air tersebut, sampai seberapa jauh dapat memenuhi kebutuhan sasaran.
- Dampak lingkungan apa yang akan ditimbulkan oleh model pengelolaan terhadap kualitas dan kuantitas lahan, sumber daya air, dan udara.
- Bagaimana sistem infrastruktur dalam model pengelolaan sumber daya air, yaitu konsekuensi sosial yang mungkin ditimbulkan dari model yang dibuat.
- Apakah model yang ditawarkan kira-kira diterima oleh masyarakat.
- Apakah kemungkinan dampak model dalam perekonomian masyarakat ?



Gambar 2-1: Rancangan model analisis alternatif pengelolaan sumber daya air



Gambar 2-2: Citra SPOT 5 Pulau Nunukan tanggal 21 April 2006

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa (1) kondisi fisik, (2) Potensi sumber daya air Pulau Nunukan, (3) Model pengelolaan sumber daya air di Pulau Nunukan.

3.1 Kondisi Fisik

Kondisi fisik mencakup relief topografi, jenis batuan, jenis tanah, analisis kondisi sistem lahan, jalur sungai dan jalur jalan. Relief topografi Pulau Nunukan dengan ketinggian maksimum <500 meter dari permukaan laut (m dpl). Kemiringan lereng terbesar 25 %. Bentuk lahan Pulau Nunukan bervariasi terdiri atas daerah cekungan, teras laut, dataran, perbukitan bergelombang. Berdasarkan hasil interpretasi citra dan survei lapangan (Gambar 3-1) penulis mengelompokkan topografi/relief Pulau Nunukan dalam lima kelompok, yaitu relief/topografi (cekungan, dataran, dataran berombak, bukit bergelombang, perbukitan lereng sedang dan terjal) dan bentuk lahan 10 kelompok (Purwadhi dkk, 2006), yang dirangkum dalam Tabel 3-1, yaitu:

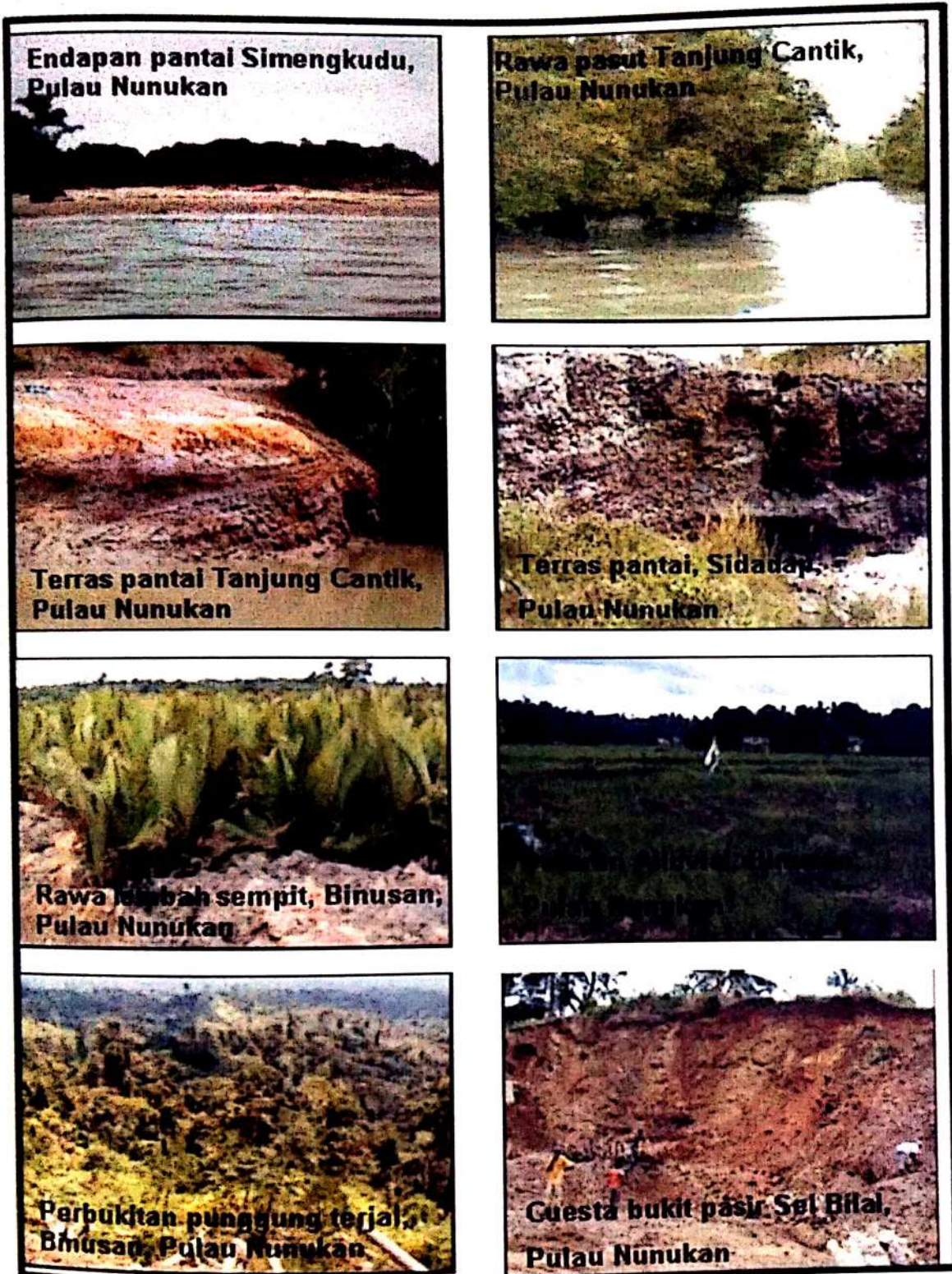
- Cekungan (basin) bentuk laut dan sungai, lereng (0-2) %, beda tinggi (2-10) m, letak lokasi 0- (-25) m dpl,
- Rawa pasang surut (*tidal swamp*) ditumbuhi hutan bakau dan nipah, lereng (0-2) % dan beda tinggi <5 m, letak lokasi 0- (-25) m dpl,
- Rawa lembah sempit, lereng < 2 %, beda tinggi < 2 m, letak (0-25) m dpl,
- Endapan pasir pantai bentuk datar, lereng (0-2) %, beda tinggi (2-10) m, letak lokasi (0 - 25) m dpl,
- Dataran aluvial (*alluvial plain*) oleh pengendapan pantai dan muara sungai, lereng 0 - 2 %, beda tinggi 2-10 m, letak lokasi (0-50) m dpl,
- Teras laut (*marine terrace*) oleh air laut, lereng 2-8 %, beda tinggi (2-10) m, letak lokasi (0-50) m dpl,
- Dataran (*plain*) dari batuan endapan dan batuan beku (2-8) %, beda tinggi (5 - 25) m. Ketinggian 50-100 m dpl,

- Dataran berombak kecil (8-15) %, bukit sejajar (15-25) %, beda tinggi (25-75) m, ketinggian (50-100) m dpl,
- Perbukitan (*hill*) berombak (15-25) %, bergelombang (25-40 %), beda tinggi 2-50 m, letak lokasi (50-100) m dpl,
- Perbukitan lereng terjal berupa *cuesta* bukit pasir (25-40) %, beda tinggi (50-100) m, pada ketinggian (100-200) m. Batuan metamorfik (> 40 %), beda tinggi (50-200) m, letak lokasi pada ketinggian >200 m dpl.

Tabel 3-1: HUBUNGAN ANTARA RELIEF, LERENG, BEDA TINGGI DI PULAU NUNUKAN

Topografi/relief	Bentuk lahan	Lereng %	Beda Tinggi (m)	Letak (m dpl)
Cekungan (basin)	Laut dan sungai	0 - 2	< 5	0 - (-25)
	Rawa pasang surut			
	Rawa lembah sempit	< 2	< 2	0 - 25
Dataran (plain)	Endapan pasir pantai	0 - 2	2-10	0 - 25
	Dataran alluvial			0 - 50
Dataran Berombak	Teras laut	2 - 8	5 - 25	0- 50
	Dataran batuan beku	2-8	5-25	50-100
Bukit bergelombang	berbukit kecil	8 - 15	25 - 75	50-100
	Perbukitan sejajar	15- 25	25 - 75	100-200
Bukit lereng terjal	Cuesta bukit pasir	25- 40	50 - 100	100-200
	Bukit metamorfik	> 40	50 - 200	> 200

Sumber: Hasil penelitian Purwadhi dkk, 2006



Gambar 3-1: Kenampakan bentuk lahan hasil survei lapangan Pulau Nunukan

Struktur geologi Pulau Nunukan berupa lipatan antiklinal dengan arah sumbu baratdaya-tenggara, berumur *Quaternary*, *Pliocene*, *Miosen* hingga *Oligocene*. Proses endogen membentuk perbukitan lipatan, proses eksogen dengan erosi material membentuk dataran alluvial. Pulau Nunukan dibedakan

dalam lima formasi batuan (Purwadhi dkk, 2003),

- Aluvial (Qa) dengan litologi sedimen, endapan alluvial dan rawa berumur *resent (quaternary)*.
- Formasi Sajau (TQps) berupa endapan litoral lumpur, pasir, kerakal, setempat gampungan, dan tumbuhan. Terletak

pada teras pantai, berumur mulai Trias hingga kwarter (*Quaternary*).

- Batuan terobosan retas dan sumbat diorit (Qpi), kuarsa (setempat), berupa formasi batu berpasir, berumur kwarter.
- Formasi Tabul (Tmt) serpih batu lanau, karbon, gamping kelabu muda butir halus-kasar. Formasi tidak selaras berumur miosen di perbukitan rendah dengan sentuhan tektonik, terdapat sesar/patahan melintang di Pulau Nunukan arah barat laut-tenggara.
- Formasi Meliat (Tmm) berupa batuan lumpur kerakal berumur *Oligocene*, gabro lapis dan pejal, lereng curam tidak selaras.

Empat jenis tanah Pulau Nunukan, yaitu *Psammaquent*, *Sulfaquent*, *Tropaquept*, dan *Tropudults*.

- *Psammaquents* tergolong tanah masih sangat muda, di dataran aluvial, pantai, lereng volkan aktif dan terdapat di daerah beriklim basah atau kering.
- *Sulfaquents/Typic Sulfaquent*, Ordo *Entisol*, Sub Ordo *Aquent*, *Great Group Sulfaquent*. Kedalaman kurang dari 50 cm, atau selalu jenuh air dan pada semua horison di bawah 25 cm, warna berubah karena teroksidasi udara atau kelembaban tertentu.
- *Tropaquepts/Typic Trophaquepts*, Ordo *Inceptisol*, Sub Ordo *Aquept*, *Great Group Trophaquept*. Jenis tanah ini mempunyai rezim suhu tanah *isomesik*/lebih panas, terdapat di daerah datar, kemiringan lereng 0-2 %.
- *Tropudults* adalah jenis tanah dengan kandungan mineral mudah lapuk pada kedalaman < 1 meter. Tanah dengan horison argilik/kandik dan memiliki kejenuhan basa < 35 persen kedalaman 125 cm atau lebih. Pelapukan lanjut dan terjadi translokasi liat pada bahan induk, umumnya kaya aluminium-silika dengan iklim basah. Tanah miskin unsur hara N, P, dan K, serta peka terhadap erosi, di perbukitan bergelombang, lereng 15 - 40 %.

Penutup Lahan Pulau Nunukan dibuat dari citra SPOT 5 tanggal 21 April

2006 (Gambar 3-2). Penggunaan/penutup lahan dibagi dalam 12 (dua belas) kelompok, yaitu bandara, pelabuhan, belukar, hutan, ladang/tegalan, lahan terbuka, bakau, pasir pantai, permukiman, sawah, semak/rumput, tambak, laut. Luas setiap penggunaan/penutup lahan pada Tabel 3-2.

- Bandara (landasan pesawat) pola khas sebagai garis lurus dengan asosiasi tempat pendaratan pesawat terbang dan bangunan infrastruktur yang digunakan untuk ruang tunggu.
- Pelabuhan dengan tanggul (*Jetty*) tempat tambatan kapal atau *speed boat*. Dua pelabuhan laut di Kota Nunukan adalah Pelabuhan Tunon Taka dan Pelabuhan Lamijung (Beringin). Kedua pelabuhan tersebut berfungsi sebagai tempat naik turunnya penumpang dan barang secara domestik dan ke luar negeri. Pelabuhan juga berfungsi sebagai pelabuhan transit bagi TKI ke Sabah, Malaysia.
- Belukar di bekas perladangan yang ditinggalkan terpencar-pencar antara belukar, rona tetap pada citra temporal. Kawasan tersebut berstatus hutan lindung, hutan produksi terbatas dan hutan produksi.
- Ladang/tegalan di Pulau Nunukan berupa lahan terbuka di perbukitan dan igir-igir pegunungan, untuk kebun dan tanaman kelapa mendominasi beberapa tempat, membentuk suatu hamparan kebun kelapa di kawasan permukiman.
- Hutan dataran rendah (hutan campur belukar dan alang-alang) dan hutan primer di perbukitan Pulau Nunukan. Status hutan sebagai Hutan Lindung, Hutan Produksi Terbatas dan Hutan Produksi Biasa.
- Lahan terbuka di perbukitan, (tanpa vegetasi dan tanpa air) adalah bekas tebingan atau lahan tegalan yang sedang diolah. Pasir pantai berupa endapan lumpur dan pasir (tanpa vegetasi) memanjang di tepi pantai bagian selatan Pulau Nunukan. Jalan salah satu fasilitas transportasi masuk

dalam kelas lahan terbuka, pola memanjang. Jalur jalan tampak rona putih karena batuan kars yang sudah mengalami pelapukan.

- Mangrove/hutan bakau dan nipah mendominasi daerah pantai barat dan selatan Pulau Nunukan. Walaupun mangrove di sini terlihat diselingi oleh tanaman nipah, namun kenampakan menjadi satu kesatuan ekosistem.
- Permukiman di Pulau Nunukan dapat dibagi tiga jenis sesuai pengembangan fungsi relokasi, yaitu permukiman kota, perkantoran, dan pedesaan.
- Sawah adalah lahan untuk kegiatan pertanian. Daerah persawahan berada di sekitar sungai. Genangan air pola jelas berasosiasi dengan pematang, akan dikategorikan ke dalam kelas sawah. Budidaya sawah tadah hujan tanaman padi. Di sekitar permukiman sawah berkembang, sedangkan di perbukitan sebagian besar sebagai tegalan dengan pola terassering.
- Semak/rumput bercampur belukar, ladang/tegalan di lereng pegunungan dengan tanaman semusim. Semak di perbukitan bekas tebanan berupa rumput ilalang dan sedikit pohon besar,
- Tambak dan Rawa adalah penutup tubuh air. Tambak dan rawa tidak dibedakan dalam klasifikasi ini. Kenampakan badan air berwarna biru gelap kehitaman, pola tambak teratur dengan pematang, sedangkan rawa/genangan air (bukan sungai) pola tidak teratur. Badan air tampak berwarna gelap hingga hitam. Lokasi tambak di Pulau Nunukan terdapat di wilayah pesisir pantai dan muara sungai.
- Sungai-sungai di Pulau Nunukan hanya beberapa yang mata airnya di pegunungan, yaitu sungai Bolong, sungai Bilal, Sei Fatimah, sungai Binusan, sungai Simengkudu, sungai Mamolo, sungai Mensapa, sungai Sedadap, sungai Mambunut, sungai-sungai kecil bermata air di perbukitan. Air sungai tampak pada citra hanya sebagian kecil karena badan sungai

tertutup vegetasi rimbun di kiri dan kanan sungai. Pola sungai berkelok dengan meander, tampak sangat jelas berbeda, pola jalur jalan rona putih.

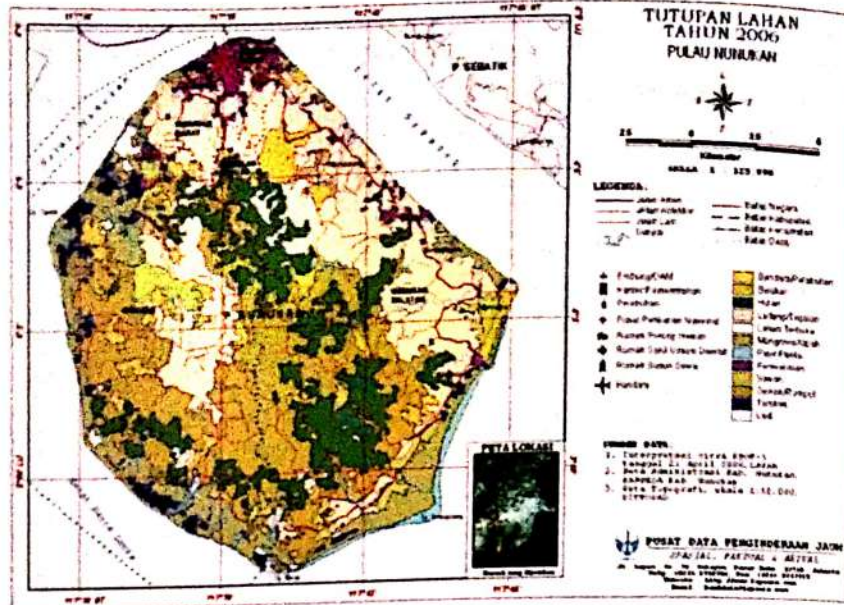
Tabel 3-2: LUAS SETIAP PENUTUP LAHAN DARI CITRA SPOT 21 APRIL 2006

No.	Penutup Lahan	Luas (Ha)
1.	Bandara	15,7
2.	Pelabuhan	8,3
3.	Belukar	1904,7
4.	Ladang/ Tegalan	6795,9
5.	Hutan	3452,1
6.	Lahan Terbuka	352,5
7.	Mangrove/ Nipah	2731,4
8.	Permukiman	754,1
9.	Sawah	837,0
10.	Semak/ Rumput	6135,4
11.	Tambak dan rawa	497,5
12.	Sungai	11,6
	Jumlah	23.496,2

3.2 Potensi SD Air Pulau Nunukan

Pembahasan sumber daya air tawar di Pulau Nunukan mencakup ketersediaan air, kebutuhan air, neraca sumber daya air, dan pemantauan kualitas air. Kajian dan perhitungan ketersediaan air di Pulau Nunukan berbasis data penginderaan jauh (Inderaja) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dilakukan dalam lima tahap berikut,

- Identifikasi kondisi hidrologi dalam hubungan dengan litologi (struktur dan stratigrafi batuan), serta genesis geomorfologi.
- Penentuan karakteritik DAS (luas, panjang, kerapatan sungai, lereng rata-rata) untuk menentukan genangan air, limpasan dan ketersediaan air.
- Prediksi simpanan air dari perkiraan ketebalan dan pola akifer berdasar unit morfologi dan stratigrafi.
- Prediksi ketersediaan air bawah tanah (*base flow*) berdasarkan hubungan kondisi klimatologi dan litologi batuan.
- Prediksi kebutuhan air Pulau Nunukan,
- Kualitas air Pulau Nunukan.



Gambar 3-2: Tutupan lahan Pulau Nunukan tahun 2006

3.2.1 Hidrologi pulau Nunukan

Hidrologi daratan secara garis besar dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu aliran langsung (*surface runoff*), aliran antara (*interflow*), dan aliran dasar (*base flow*), masing-masing sebagai berikut,

- Aliran langsung adalah aliran pada DAS ke sungai utama, yang berupa *overland flow* yang mengisi depresi-depresi di permukaan tanah sebagai air permukaan (mata air, sungai, rawa, tambak) yang segera mengalami proses infiltrasi dan evaporasi.
- Aliran antara (*interflow*) adalah aliran di sela-sela tanah atau batuan, mempunyai sifat sementara dan akan masuk ke tanah melalui rembesan antara lapisan tanah ke permukaan.
- Aliran dasar (*base flow*) disebut air tanah, yang muncul di permukaan sebagai rembesan (*seepage*) dan mata air (*spring*). Aliran dasar merupakan komponen sangat penting untuk persediaan air di musim kemarau.

3.2.2 Penentuan karakteristik Daerah Aliran Sungai

Air permukaan dapat diperoleh melalui pengambilan air di sungai, alur-alur drainase alamiah, cekungan-cekungan alam seperti danau dan rawa. Ketersediaan air permukaan di pulau ini

sangat tergantung pada waktunya. Kondisi topografi Pulau Nunukan banyak terdapat rawa-rawa, maka kurang menguntungkan dari segi kualitas untuk penyediaan air bersih, selain bermanfaat untuk kegiatan pertambakan. Pulau Nunukan terlintasi oleh beberapa sungai dengan debit yang relatif kecil-kecil. Oleh karena itu ditetapkan suatu debit andalan atau debit minimum rata-rata sebagai patokan melalui perhitungan dengan metode yang tersedia. Sungai-sungai di Pulau Nunukan berpotensi sebagai penyediaan air permukaan atau sumber daya air tawar, dan terdapat 12 (dua belas) sungai (Gambar 3-3). Karakteristik DAS pada setiap sungai diperhitungkan dalam kaitannya dengan ketersediaan air permukaan mencakup kajian mengenai panjang sungai dan kerapatan sungai/drainase, lereng permukaan DAS dan lereng sungai induk, bentuk DAS, ketinggian DAS rata-rata, serta faktor simpanan air. Perhitungan kerapatan aliran dari citra penginderaan jauh menggunakan formula (Strahler, 1992) berikut.

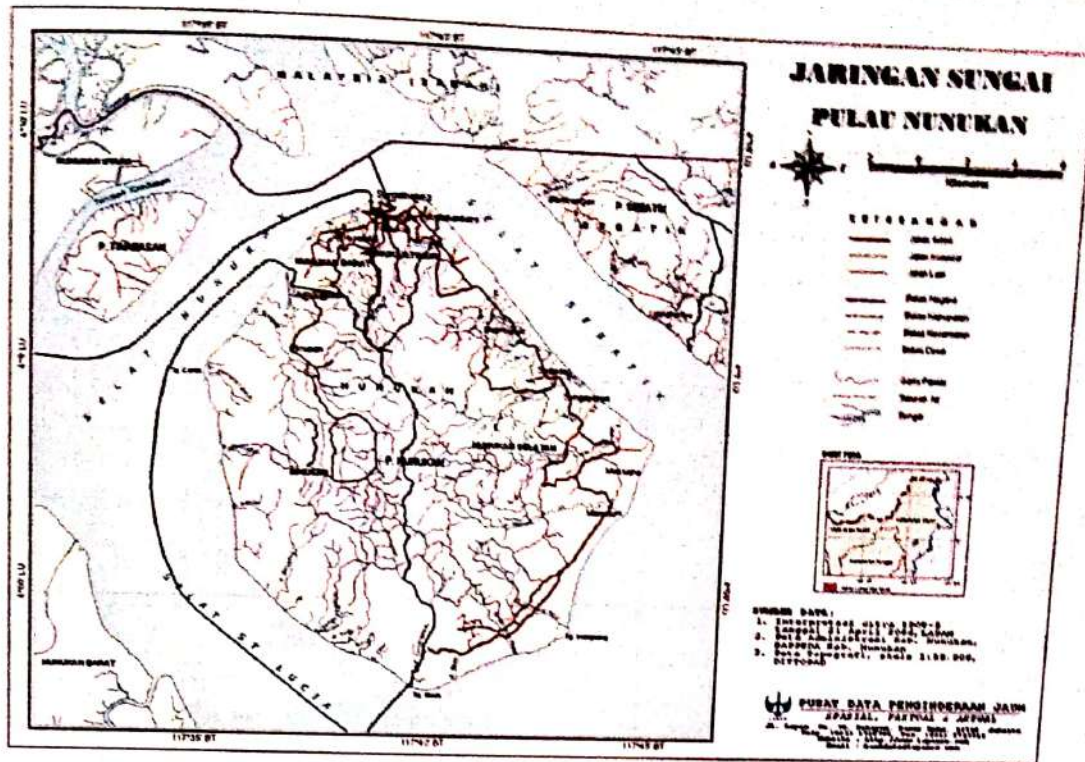
$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Keterangan :

Dd = Kerapatan aliran

$\sum L$ = Total panjang sungai

A = Perhitungan panjang per unit area



Gambar 3-3: Jaringan Sungai Pulau Nunukan Tahun 2006

Kerapatan aliran merupakan total panjang aliran sungai dalam suatu unit area satu DAS. Kerapatan aliran diekspresikan pada curah hujan dan kapasitas infiltrasi, baik secara fisik maupun secara kuantitatif dalam satu Daerah Aliran Sungai (DAS). Identifikasi sungai orde 1, 2, dan 3 Pulau Nunukan dari SPOT 21 April 2006 luas area 23.320 Ha, panjang sungai 290.375 meter. Hasil perhitungan kerapatan sungai rata rata sekitar 12,5 % (atau > 5 %), berarti pengeringan terlalu cepat, maka pengelolaan diperlukan sistem tampungan air sebagai cadangan air musim kemarau.

3.3.3 Prediksi simpanan air

Prediksi simpanan air dibahas dari simpanan air permukaan dan air tanah; Simpanan air permukaan diperhitungkan dengan menggunakan rumus:

$$Q_s = 0,0028 C \cdot i \cdot A$$

Q_s = Aliran permukaan ($m^3/detik$)

C = Koefisien limpasan

i = Intensitas curah hujan

A = Luas DAS hektar, max 800 Ha

Kemungkinan prediksi potensi simpanan air berdasarkan metode pengukuran debit dan pengukuran lengkung aliran sungai. Rumus untuk

menghitung debit simpanan air permukaan.

$$Q = AC (AS/P)^*$$

Keterangan:

Q = debit (m^2/dt)

A = luas penampang basah (m^2)

P = parameter basah (m)

C = faktor resistensi aliran

S = kemiringan garis energi (m/m)

Pengukuran lengkung aliran dilakukan dengan metode spasial pada citra dengan metode grafis. Toleransi kesalahan setelah dicek di lapangan maksimal 10 %.

- Pendekatan geometrik perhitungan kecepatan aliran $Q = AV$ dan $V = Q/A$

Q = debit (m^2)

A = luas penampang basah (m^2)

V = kecepatan aliran rata-rata/detik

- Pendekatan hidraulik rumus $V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$ dan $Q = AxV$

Keterangan:

V = kecepatan aliran rata-rata/detik

n = koefisien kekerasan

R = jari-jari hidroulis

S = kemiringan garis energi (m/m)

Q = debit (m^2)

A = luas penampang basah (m^2)

Ketersediaan air suatu wilayah diperlukan analisis distribusi aliran

sepanjang tahun, terutama distribusi pada bulan kering. Ketersediaan air dianalisis dari data debit rata-rata harian. Proses analisis debit terbesar dan debit terkecil dan peluang kejadian (ρ) per tahun. Dihitung dengan rumus Weibull untuk memperoleh debit andalan Q_{80} dan Q_{90} untuk perencanaan irigasi, dan air minum untuk melihat lamanya ketersediaan air, dihitung

$$\rho = \frac{m}{n+1}$$

Keterangan:

m = ranking
n = jumlah data

Q_{80} dan Q_{90} adalah kondisi debit air yang hanya akan mengalami keke-
rangan satu kali selama 5 tahun dan 10 tahun. Q_{80} debit yang peluang kejadiannya 20 % dalam setahun, sedangkan Q_{90} adalah debit yang peluang kejadiannya 10 % dalam setahun. Berdasarkan perhitungan di atas, Pulau Nunukan merupakan pulau yang memiliki banyak sungai berpotensi sebagai sumber air bersih bagi kebutuhan masyarakat Kota Nunukan. Perkiraan volume air dari 12 sungai, berpotensi sebagai penyediaan air permukaan adalah :

- Volume air/tahun 34.619.000 m³,
- Rata-rata vol air/ bulan 2.885.000 m³,
- Rata-rata debit air 1.113 liter/detik.

Hasil perhitungan volume dari 12 sungai untuk konsumsi Pulau Nunukan, apabila kurang, maka masih ada lima sungai kecil, berpotensi untuk ketersediaan air baku. Volume air permukaan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan penduduk Pulau Nunukan termasuk wilayah pedesaan. Tabel 3-3. Perkiraan debit dan luas DAS di Pulau Nunukan.

Hasil perhitungan penaksiran volume air permukaan dari 17 sungai (12 sungai ditambah 5 sungai kecil), maka diperkirakan volume air;

- Volume air per tahun 49.749.000 m³,
- Rata-rata vol air/bulan 4.145.750 m³,
- Rata-rata debit air 1.599 liter/detik.

Tabel 3-3: PERKIRAAN DEBIT DAN LUAS DAS DI PULAU NUNUKAN

No.	Nama Sungai	Debit (liter/detik)		Luas DAS Km ²
		Rata2	Sesaat	
1.	Semengkadu	177	365,00	14,31
2.	Sinuaru	125	258,30	10,10
3.	Semangkajang	144	295,00	11,56
4.	Sinualing	45	92,50	3,63
5.	Banjar	47	97,30	3,81
6.	Binusan	72	146,70	5,75
7.	Ujang Fatimah	121	248,80	9,75
8.	Mentri	26	53,00	2,06
9.	Bilal	117	240,80	9,44
10.	Bolong	58	119,60	4,70
11.	Sembilang	74	153,00	6,00
12.	Membunut	159	336,70	12,81
13.	Sedadap	161	336,70	13,00
14.	Jepun	130	267,90	10,50
15.	Mensapa	32	67,00	2,63
16.	Mamuluk	60	122,80	4,81
17.	Lancang	51	105,20	4,13
	Jumlah	1.599	3.306,3	129,0

Berdasarkan sampel air tanah dari 14 titik pengeboran diperhitungkan kandungan air pada setiap lapisan Pulau Nunukan pada *aquifer* bebas (7 - 50 m). Kualitas air tanah tergantung lapisan batuanannya. Kualitas yang kurang bagus berwarna kekuningan (setelah proses oksidasi) diperkirakan dari proses infiltrasi dan perkolasi formasi di atasnya. Lapisan konglomerat kualitas air tanah yang bagus tidak berbau dan tidak berwarna (jernih). Sumber air tanah dalam tidak berasal dari *recharge area*, namun diperkirakan Pulau Nunukan berpotensi sebagai sumber air tanah dalam satu tahun dapat mencapai sebesar 150.000.000 m³ apabila hutan lindungnya tidak rusak.

Sebagai salah satu sumber air tawar, mata air (*spring water*) dan rembesan akan sangat bergantung kualitas DAS di bagian hulu. Hutan lindung yang memiliki sifat khas dan mampu memberikan perlindungan bagi kawasan sekitarnya maupun kawasan bawahnya (*buffer zone*), yang berfungsi pengaturan tata air (*recharge area*), pencegahan banjir dan erosi, serta pemeliharaan tanah. Mata air Pulau Nunukan ditemui saat survei lapangan di kawasan sungai Bilal. Mata air mempunyai debit 0,5 - 1 liter/detik,

yang berfungsi sebagai sumber air permukaan di sekitarnya. Mata air berupa air terjun langsung ke sungai Binusan yang dibangun embung dan bendungan pintu air untuk pengaturan air agar tidak banjir di musim penghujan dan tidak kekeringan di musim kemarau. Embung dekat dengan tempat rekreasi, bermanfaat multi fungsi.

3.2.4 Kondisi klimatologi pulau Nunukan

Hasil analisis curah hujan dari data yang dicatat oleh stasiun meteorologi BMG di Bandara Nunukan tahun 2000 - 2005, Jumlah curah hujan rata-rata tahunan, yakni sebesar 197,3 mm, curah hujan bulanan maksimum terjadi bulan Juli 2002 sebesar 520 mm. Jumlah curah hujan terbesar pada tahun 2005 sebesar 3065,6 mm dari 208 hari hujan, dan terkecil tahun 2004 sebesar 1528,8 mm dari 166 hari hujan. Hasil analisis klimatologis jangka pendek (5 tahun) tahun 2000-2005.

- Temperatur udara rata-rata bulanan, 25.78°C, suhu rata-rata bulanan maksimum 27.67°C, suhu rata-rata bulanan minimum 24.40°C. Suhu bulanan maksimum 33.4°C terjadi April 2004, suhu bulanan minimum 22.5°C terjadi bulan September 2004.
- Kelembaban udara rata-rata bulanan berkisar 74,8 % - 81,5 %. Kelembaban minimum 39 % terjadi Maret 2005, dan maksimum 98 % Agustus - November 2004 dan Juli - September 2005.

Keseimbangan air tanah dibedakan berdasar evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi aktual. Evapotranspirasi potensial adalah banyaknya air yang menguap dari daerah aliran sungai bila air yang tersedia tidak ada. Biasanya besarnya dari tahun ke tahun seragam dihitung dengan rumus.

$$E_{To} = C [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)]$$

Keterangan:

- E_{To} = Evapotranspirasi standar mm/hari
- W = faktor temperatur

- R_n = radiasi matahari (mm/hari)
- $f(u)$ = faktor kecepatan angin
- $(e_a - e_d)$ = perbedaan tekanan jenuh suhu udara rata2 dan tekanan uap air udara (mbar)
- C = Koefisien

Evapotranspirasi aktual biasanya besar sama dari evaporasi potensial. Biasanya besarnya dari tahun ke tahun seragam, yaitu berdasarkan perhitungan dari data temperatur, kelembaban udara, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin (Hartoto, 2003). Nilai evapotranspirasi di Pulau Nunukan hasil perhitungan berkisar antara 115,34 - 159.97 mm dan rata-rata nilai evapotranspirasi 128,08 mm.

3.2.5 Kebutuhan air pulau Nunukan

Analisis kebutuhan air Pulau Nunukan diperkirakan besarnya untuk berbagai penggunaan air, yaitu kebutuhan air baku untuk kegiatan irigasi, air minum, perikanan, penggelontoran, industri dll. Perhitungan penggunaan air irigasi mengacu KP-01 mengenai Perencanaan Jaringan Irigasi. Kebutuhan air baku untuk domestik dan perkotaan dihitung berdasar jumlah penduduk dan jumlah kebutuhan air dari standar Direktorat Jendral Cipta Karya. Kebutuhan air yang penting untuk perhitungan kebutuhan Domestik, kebutuhan jaringan dan pemeliharaan sungai. Kebutuhan untuk pemeliharaan sungai (debit sungai minimum) ditentukan minimal sama dengan debit $Q_{95\%}$ (debit andalan 95%) atau 12 liter/sec. Tambahan debit untuk pemeliharaan sungai adalah berasal dari luar DAS. Instalasi Pengelolaan Air (IPA) biasanya 10 % dari air yang sudah diolah dialirkan kembali untuk menambah debit air sungai (PP No. 82 Tahun 2001). Analisis kebutuhan air domestik untuk masa datang diperlukan data penduduk masa lalu dan perkiraan jumlah penduduk mendatang.

Rumus :

$$P_n = P_o (1 + R)^n$$

Keterangan:

- P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke n

P_0 = Jumlah penduduk tahun dasar (ke 0)
 R = Laju pertumbuhan penduduk/tahun

Kebutuhan air baku kota Nunukan dapat dihitung berdasarkan data dari PDAM Kota Nunukan, debit air sungai minimum 12 liter/detik untuk pemeliharaan sungai. Kebutuhan air baku dihitung rumus

$$Q_{DMI} = \frac{(1 + N_D) F_p T_p}{(1 - K_B) 86400} (J_p K_D)$$

Keterangan:

- Q_{DMI} = Kebutuhan air baku
- J_p = Jumlah penduduk yang dilayani
- K_D = Kebutuhan air domestik per kapita/hari
- N_D = Presentase pemakaian air non domestik
- F_p = Faktor Produksi
- T_p = Tahun produksi
- K_B = Faktor Kebocoran

Perhitungan total kebutuhan air baku di Pulau Nunukan dengan asumsi debit minimum 12 liter/sec, daerah yang dilayani dari tampungan air/bendungan dengan volume tampungan 380.000 m³. Laju perkembangan penduduk 2000 - 2005 (L_p) sebesar 5,3 %; Kebutuhan air domestik (K_D) sebesar 150 liter/orang/hari; Presentase Pemakaian Air non Domestik (N_D) sebesar 10 %; Faktor Produksi (F_p) sebesar 1,1; Faktor Kebocoran (K_B) 30 %. Hasil perhitungan proyeksi kebutuhan air baku Nunukan sampai dengan tahun 2015 seperti Tabel 3-4.

3.2.6 Kualitas air pulau Nunukan

Identifikasi dan pengukuran kualitas air dilakukan pada air permukaan dan air bawah permukaan. Kualitas air permukaan diperoleh dari analisis citra SPOT 5 tanggal 21 April 2006 (Gambar 3-4) pada kanal (*bund*) 2 (530 nm-610 nm), mengenai estimasi sebaran partikel anorganik atau endapan terlarut (*Total Suspended Matters/Solid = TSM/TSS*) secara kualitatif. Hasil inventarisasi tahun 2003 sudah dilakukan validasi pada beberapa titik dengan sampel air di 5

(lima) lokasi, yaitu Simengkudu, Tanjung Cantik, Tanjung Harapan (Pantai Kawasan Berikat), Lamijung, dan Tanantaka dikelompokkan berikut.

- Di Muara sungai Tanjung Cantik, Simengkudu, dan Pantai Kawasan Berikat (Sedadap) kekeruhan karena endapan lumpur dan limbah dari wilayah pertanian Desa Binusan.
- Lamijung dan Tanantaka merupakan limbah domestik dari kota Nunukan, berupa plastik dan endapan lainnya. Hasil penilaian kualitas pada dua titik (Lamijung dan Tanantaka) kualitas air tercemar oleh bakteri tinja, amonia, deterjen, minyak, dan lemak.

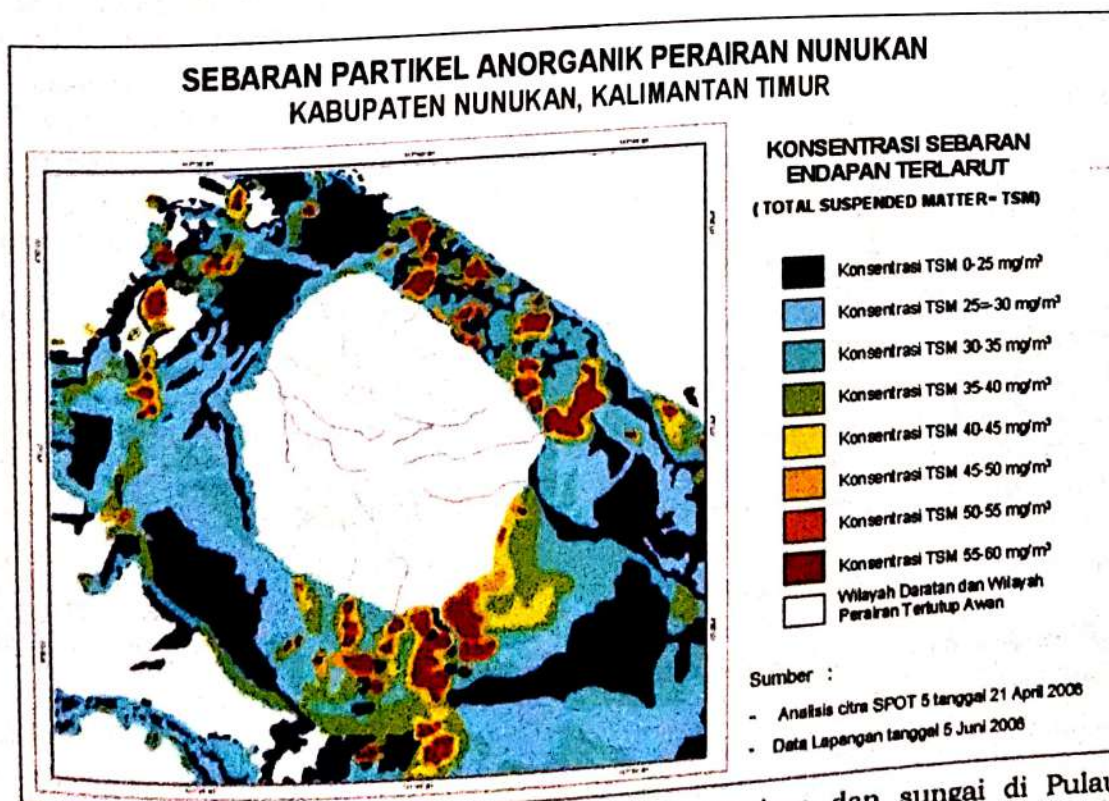
Identifikasi dan analisis kualitas air bawah permukaan digunakan sampel air hasil pengeboran 14 titik oleh Pemda Nunukan, yang oleh penulis dikelompokkan menjadi lima kualitas, yaitu:

- Air yang sudah tercemar dengan air laut pada lapisan lumpur hitam terletak di rawa-rawa pantai.
- Air dianggap bersih, namun kualitas tidak layak diminum, warna jernih kekuningan pada lapisan humus (setelah proses oksidasi) diperkirakan sebagai akibat dari proses infiltrasi dan perkolasi formasi batuan atasnya, terdapat dari Tanjung Cantik - Mamolo.
- Air keruh, berbau warna coklat kemerahan, pada lapisan lempung pasir di bawah lapisan alluvium (kedalaman 4 m) pada anak sungai Mensapa hingga Mamolo.
- Air kualitas baik dengan warna putih kekuningan jernih dan tidak berbau pada lapisan pasir kwarsa dan batu lanau napal kompak, letak di perbukitan Tanjung Cantik hingga patahan Binusan.
- Air kualitas baik, tidak keruh dan tidak berbau terdapat di lapisan konglomerat (krakal), di bawah lapisan lanau napal pada kedalaman sekitar 16 meter di perbukitan tengah Pulau Nunukan yang merupakan sumber mata air Sei Bilal, Sei Bolong, dan Sei Fatimah.

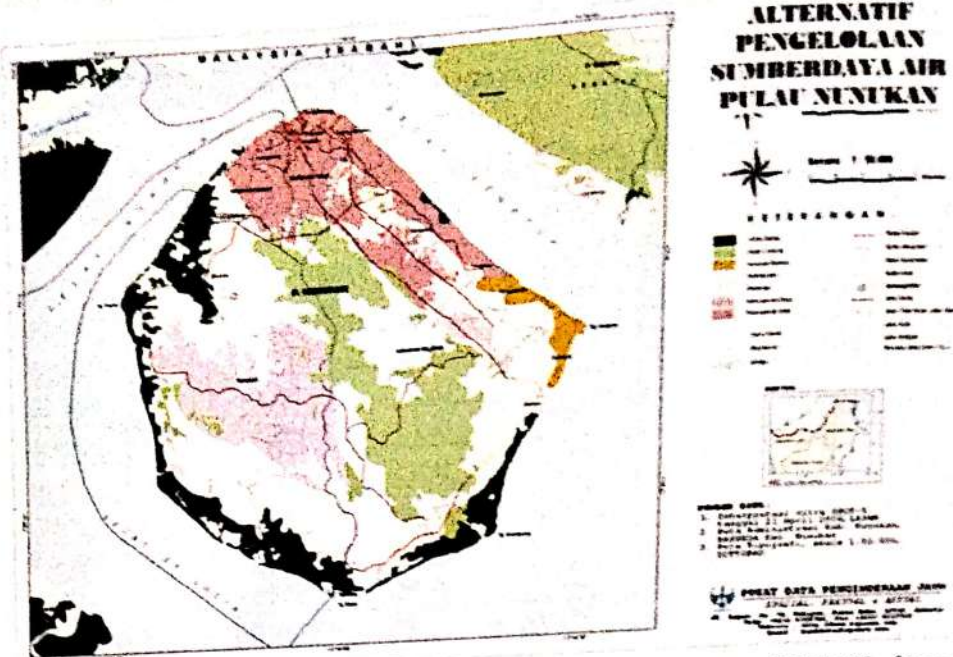
Tabel 3-4: PROYEKSI KEBUTUHAN AIR BAKU KOTA NUNUKAN 2000 - 2015

No.	Tahun	Jumlah Penduduk		Pelayanan Penduduk		Kebutuhan Air (lt/sec)		Debit Min Sungai (lt/sec)	Suplai air baku (lt/sec)
		Data	Prediksi	Jumlah	Tingkat %	Baku	PDAM		
1.	2000	21322	19527	4882	0,25	26650	14650	12000	30000
2.	2001	22468	20562	5141	0,25	27427	15427	12000	30000
3.	2002	23552	21652	5413	0,25	28244	16244	12000	30000
4.	2003	29915	29913	7478	0,25	34442	22442	12000	30000
5.	2004	31617	31498	7875	0,25	35631	23631	12000	30000
6.	2005	33879	33168	8292	0,25	36884	24884	12000	30000
7.	2006		34926	8732	0,25	38233	26203	12000	30000
8.	2007		36777	9194	0,25	39592	27592	12000	30000
9.	2008		38726	11618	0,30	46865	34865	12000	100000
10.	2009		40778	14272	0,35	54331	42831	12000	100000
11.	2010		42940	17176	0,40	63545	51545	12000	100000
12.	2011		45216	20347	0,45	73062	61062	12000	100000
13.	2012		47612	23806	0,50	83442	71442	12000	100000
14.	2013		50135	27574	0,55	94750	82750	12000	100000
15.	2014		52793	31676	0,60	107059	95059	12000	200000
16.	2015		55537	36134	0,65	120438	108438	12000	200000

Analisis, Perhitungan, dan Asumsi dalam penelitian Purwadhi dkk, PPRUK 2006	Laju perkembangan penduduk 2000 - 2005 $L_p = 5,3 \%$
	Kebutuhan air domestik (liter/ orang/ hari) $K_D = 150$
	Presentase Pemakaian Air non Domestik $N_D = 10 \%$
	Faktor Produksi $F_p = 1,1$
	Faktor Kebocoran $K_B = 30 \%$



Gambar 3-4: Sebaran kandungan anorganik di perairan dan sungai di Pulau Nunukan dari citra SPOT 5 tanggal 21 April 2006



Gambar 3-5: Alternatif pengelolaan sumber daya air tawar/RTRW alternatif Pulau Nunukan

3.3 Model Pengelolaan SDA Nunukan

Pulau Nunukan adalah pulau kecil yang sistem penyediaan air tergantung pada air hujan, air sungai, dan air tanah. Oleh karena itu pembuatan model pengelolaan air bersih dibuat tiga strategi, yaitu:

- Konservasi sumber daya air dengan tiga strategi, yaitu (1) Meminimalkan kerusakan Daerah Aliran Sungai (DAS) untuk pengendalian terjadinya erosi, pelumpuran, serta mencegah banjir dan kekeringan (2) Penghematan sumber daya air (3) Penampungan air hujan dan imbuhan air tanah.
- Pengendalian pencemaran air, dapat diupayakan dengan empat macam pendekatan (1) Peraturan perundangan, (2) Kelembagaan dan administrasi perizinan dan pengawasan (3) Program nasional dan daerah pengendalian pencemaran air (4) Pengembangan teknologi dan pembangunan prasarana dan sarana fisik pengendalian pencemaran air.
- Pengaturan penggunaan sumber daya air dengan tiga skenario, yaitu (1) perbaikan sistem pelayanan, (2) penyediaan air bersih, (3) penanganan sistem drainase.

Hasil penyusunan alternatif dinyatakan dengan penataan kembali (*updating*) rencana tata ruang yang sudah ada (RUTR Kab. Nunukan 2000-2012) karena sistem konservasi sumber daya air berhubungan dengan keberadaan hutan lindung. Hasil penyusunan Alternatif rencana tata ruang wilayah Pulau Nunukan (Gambar 3-5). Rencana alternatif tersebut dibuat dengan penempatan beberapa embung untuk penampungan air bersih, dan mengurangi limpasan (*run off*) air permukaan. Model penyesuaian tetap memperhitungkan keberadaan pemukiman dan infrastruktur yang sudah ada. Sebagian besar hanya mengubah daerah belukar untuk dihutankan kembali atau dibuat perkebunan dengan tanaman keras.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan dalam pembuatan model pengelolaan sumber daya air tawar Pulau Nunukan, yakni:

- Prediksi ketersediaan air tawar dari air permukaan Pulau Nunukan cukup berlebih untuk dapat digunakan hingga tahun 2015.
- Prediksi kualitas air tanah tergantung lapisan batuanannya terdapat lima jenis air tanah di Pulau Nunukan, yaitu (1)

Air tercemar air laut pada lapisan lumpur hitam di rawa pantai; (2) Air dianggap bersih, kualitas tidak layak diminum, warna jernih kekuningan, pada lapisan humus; (3) Air keruh, berbau warna coklat kemerahan, pada lapisan lempung pasir; (4) Air kualitas baik dengan warna putih kekuningan jernih dan tidak berbau, pada lapisan pasir kuarsa dan napal; (5) Air kualitas baik, tidak keruh dan tidak berbau pada lapisan konglomerat.

- Model pengelolaan yang ditawarkan, dengan menggunakan tiga strategi, yaitu (1) konservasi sumber daya, (2) pengendalian pencemaran, dan (3) pengaturan penggunaan dengan tiga skenario, maka memelihara agar cadangan air lebih banyak, kualitas air lebih baik, dan sumber daya air dapat digunakan lebih lama.

DAFTAR RUJUKAN

- Conford N., 1985. *Hydrologic System Vol 1. Watershet Modeling*. Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey.
- Hartoto Dedi Iving, 2003. *Potential Contribution of Limnology for The development of Indonesian Island Water Ecotourism*. Research Center for Limnology, Indonesian Institute of Sciences.
- JICA, 1985. *Hidrologi Terapan. Observasi Hidrologi, Statistik Hidrologi, Perhitungan Aliran*. Volcanic Sabo Technical Centre Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Keputusan Presiden (Keppres) Republik Indonesia No. 32 tahun 1990 tentang Pengertian dan Kriteria Kawasan.
- Marble D. F.; Calkins H.W.; and Peuquet D.J., 1984. *Basic Readings In Geographic Information System*. SPAD System, Ltd. Williamsville, New York, USA.
- Nihoul Jacques C. J., 1984. *Remote sensing of Shelf Sea Hydrodynamics*, Proceeding of 15 th International Liege Colloquium of Ocean Hydrodynamic, Elsevier Amsterdam.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 78 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Pulau-pulau kecil terluar.
- Pemerintah Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur, 2002. Rencana Umum Tata Ruang Kabupaten Nunukan 2002-2012.
- Pemerintah Kabupaten Nunukan, 2005. Laporan Survei 14 Titik Pengeboran Untuk Inventarisasi Potensi Air Bawah Tanah Kecamatan Nunukan. Mega Skala Technical Development Consultant.
- Purwadhi Sri Hardiyanti; Ongkosongo OSR; Indrabudi H.; Nanik Suryo Haryani, 2003. *Analisis Potensi Sumber daya Lahan untuk mendukung Perencanaan Tata Ruang Kecamatan Nunukan dan Kecamatan Sebatik*. Laporan Kerja sama Pusdata LAPAN-Bappeda Nunukan 2003.
- Purwadhi Sri Hardiyanti; Ongkosongo, Suryo Haryani; Nani Hendiarti; Dianovita, 2006. Alternatif Pengelolaan Sumber daya Air Tawar Di Pulau Kecil Berbasis Data Inderaja Dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Nunukan, Kalimantan Timur). Laporan PPRUK LAPAN 2006.
- Purwadhi Sri H.; Nanik Suryo Haryani; Siburian; Farid, 2006. Laporan Survei Lapangan Pulau Nunukan.
- Strahler. A.H.; and A. N. Strahler, 1992. *Modern Physical Geography*, 4th ed. Willey. New York.
- Undang-Undang No 4 tahun 1982 tentang Ketentuan Pokok Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara RI, Jakarta.
- Undang-Undang No 22 tahun 1999 tentang Pemerintah Daerah Lembaran Negara RI Tahun 1999 No. 60.