

MORFOMETRI DAN POTENSI SUMBERDAYA AIR DANAU LAUKAWAR

Eko Murhartadi S Siregar
murhartadi@gmail.com

M. Pramono Hadi
mphadi@ugm.ac.id

Abstract

Purposes of this research are make bathimetric map, calculate and/or measure morphometric aspect, and count potency of Laukawar water resources. Method for making bathimetric map used hanger what sink bellow surface. The hanger tied with measure rope, and record deep and coordimate. After deep and coordinate recorded, data will interpolated with krigging method. Result of the bathimetric map used to calculate and/or measure morphometric aspec. Total of 17 morphometric aspec are maximum length, effectife maximum length, maximum width, effectife maximum width, average width, maximum depth, average depth, relative depth, shoreline, retention time, volume development, lake coverage area, shoreline development, volume, ledok angle, recharge and lake coverage area ratio, and insolusity. lake coverage area are covered more than 1 milion mters square with 18 meters maximum depth and 11 milion meters cubic volume. Relative depth is 1,5, it mean Laukawar is a low stability lake. Shoreline development is 1,6, it mean laukawar is a elips lake. retention time is 341 days. Recgarge area are more than 9 milion meters square what have 200-2500 mm rain. It make 10 to 15 meters cubic water with evapotranspiration. inlet water. According to outlet flow direction what pass Naman Teran and Simpang Empat district, both of water consumption are 6,3 milion mrters cubic. Assumption of remmant the water (3,7-8,7 milion mrters cubic) are infiltrate, or flowing and used by another district.

Keyword: *Water, Lake, Laukawar, Morphometry, Karo Water Consumption*

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat Peta Batimetri, mengetahui Kondisi Morfometri, dan menghitung Potensi Sumberdaya Air Danau Laukawar. Metode yang digunakan untuk membuat peta batimetri adalah dengan pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan pemberat yang diikat dengan tali ukur serta dicatat koordinatnya. Data titik kedalaman dan koordinat tersebut kemudian diinterpolasi dengan menggunakan metode krigging. Peta batimetri yang sudah dihasilkan digunakan untuk menghitung dan/atau mengukur aspek morfometri danau. Danau Laukawar menutupi luasan lebih dari 1 juta meter persegi, dengan kedalaman maksimal 18 meter dan volume 11 juta meter kubik. Kedalaman relatifnya adalah 1,5, yang berarti bahwa Laukawar memiliki nilai stabilitas yang rendah, mudah tercampur karena pengaruh angin. Luas tangkapan air danau sebesar lebih dari 9 juta meter persegi yang memiliki curah hujan pada kelas 2000 sampai 2500 meter persegi. Hujan yang sudah dikurangi penguapan menghasilkan air masuk sebesar 10 sampai dengan 15 juta meter kubik pertahun. Merujuk kepada aliran outlet Laukawar, yang melewati Kecamatan Naman Teran dan Kecamatan Simpang Empat, dan kebutuhan kedua kecamatan tersebut (6,3 juta meter kubik), Laukawar dan daerah tangkapan airnya hanya dapat memenuhi kedua kecamatan tersebut secara utuh. Sisa air sebanyak 3,7 sampai dengan 8,7 juta meter kubik, meresap, atau tetap mengalir dan dipergunakan oleh kecamatan lain.

Kata Kunci: Air, Danau, Laukawar, Morfometri, Kebutuhan Air Kabupaten Karo

Unsur utama penopang kehidupan, termasuk manusia, adalah air. Air yang dibutuhkan ini adalah air tawar, seperti yang tersedia di sungai. Terbukti peradaban awal manusia berada di dekat sumber air tawar, Sumeria dan Babilonia di pinggir Sungai Eufrat dan Sungai Tigris, Peradaban Mesir Kuno di pinggir Sungai Nil.

Bumi, 2/3 penutupnya adalah air. Namun diantara kesemua air yang tersedia di bumi, hanya 3% yang berbentuk air tawar. Sisanya yang berjumlah 97% merupakan air laut yang tidak dapat dipergunakan langsung. Air tawar tersebut 2% diantaranya masih berupa es di kutub, 0,87% di dalam akuifer tanah, dan sisanya (yang dapat dipergunakan langsung) berada di sungai, danau, dan waduk.

Menurut USGS (2004), Indonesia merupakan salah satu dari 6 negara yang menyimpan 50% persediaan air tawar dunia. Tidak sulit menemukan danau di Indonesia, seperti Danau Tondano di Sulawesi Utara, Danau Jatiluhur di Jawa Barat, Danau Maninjau di Sumatera Barat, Danau Toba di Sumatera Utara, dan sebagainya merupakan danau besar dan terkenal di Indonesia.

Danau Maninjau dan Danau Toba merupakan danau yang berada di Pegunungan Bukit Barisan di sepanjang Pulau Sumatera. Diantara nama populer tersebut, terdapat danau kecil yang di daerah administrasi Kecamatan Naman Teran, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. Namanya adalah Danau Laukawar. Di sebelah selatan Danau Laukawar terdapat Gunungapi Sinabung yang masih aktif dan terakhir meletus tahun 2010 silam. Sehari-harinya, danau ini digunakan sebagai objek wisata dan pemenuhan kebutuhan air tawar beberapa masyarakat di sekitar danau. Danau Laukawar belum memiliki informasi dasar danau, morfometri danau, dan keunikan hidrologinya.

Morfometri danau penting diketahui untuk mengetahui ciri dan peran bentukan fisik dalam mempengaruhi sifat perairan danau secara keseluruhan, termasuk kualitas air, biota, dan sebagainya. Hakanson (2005) mengatakan bahwa morfometri memegang peranan kunci atas variabel-variabel yang mengendap atau cara lain dalam proses biologis dan kimia danau. Morfometri danau juga mengatur muatan hara, selanjutnya muatan

primer, muatan sekunder dari zooplankton, zoobentos dan ikan. (Hakanson, 2005).

Morfometri danau memiliki banyak aspek, yaitu: panjang maksimum, panjang maksimum efektif, lebar maksimum, lebar maksimum efektif, lebar rata-rata, kedalaman maksimum, kedalaman rata-rata, kedalaman relatif, keliling, volume, perkembangan pantai, perkembangan volume, lama tinggal air, luas permukaan, *insolusity*, kemiringan ledok, dan rasio luas danau dan daerah tangkapan air. Dari data morfometri ini, nantinya akan dapat menentukan ada atau tidaknya erosi, sedimentasi, menghitung kandungan beban atau total kandungan unsur hara, dan indeks tingkat kesuburan perairan (Hakanson, 1981; Cole, 1983). Adanya perubahan atau perkembangan di danau seperti kedalaman dan luas permukaan menyebabkan nilai parameter-parameter morfometri jarang yang akurat. Perubahan-perubahan ini biasanya disebabkan oleh perubahan iklim, peristiwa tektonik, peristiwa vulkanik, peristiwa geologis, erosi serta sedimentasi (Wetzel, 1983).

Salah satu aspek morfometri yang sangat penting dihitung adalah volume danau. Volume danau tidak dapat berdiri sendiri untuk penting, harus didukung informasi luas daerah tangkapan airnya dan curah hujan. Kepentingan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar potensi air danau yang dapat mencukupi kebutuhan air tertentu.

Kebutuhan air yang dimaksud adalah kebutuhan air domestik (60 liter/hari/orang untuk masyarakat desa, 120 liter/hari/orang untuk masyarakat kota), kebutuhan air untuk peternakan (0,6 liter/ekor/hari untuk unggas, 6 liter/ekor/hari untuk babi, 5 liter/ekor/hari untuk kambing/domba, 40 liter/ekor/hari untuk sapi/kuda/kerbau) kebutuhan air untuk pertanian (1 liter/ha/detik), kebutuhan air untuk perikanan, dan kebutuhan air untuk industri. Kebutuhan air 2 terakhir (untuk perikanan dan industri) tidak diperhitungkan dengan alasan ketersediaan data pendukung.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat peta batimetri danau untuk mendapatkan informasi dasar berupa aspek- aspek morfometri. Informasi aspek morfometri volume danau kemudian

digunakan untuk menganalisis kebutuhan air mena saja yang dapat dipenuhi oleh Danau Laukawar dan Daerah Tangkapan Air-nya.

METODE

Data paling awal yang akan diambil adalah garis pantai Danau Laukawar. Data ini dimungkinkan untuk diambil dari peta RBI, namun Peta RBI yang tersedia adalah skala 1:50000, tidak terlalu detail. Maka alternatif sumber data adalah dari Citra Google Earth, yang dideliniasi dan kemudian diolah lebih lanjut. Garis pantai yang didapat ini sudah dapat mengukur morfometri permukaan, seperti panjang maksimum, panjang maksimum efektif, lebar maksimum, lebar maksimum efektif, lebar rata-rata, keliling danau, luas permukaan danau, dan perkembangan pantai.

Data selanjutnya adalah pengukuran beberapa titik kedalaman dan koordinat titik kedalaman yang diukur. Data ini diperoleh dengan pengukuran langsung lapangan. Data kedalaman dan koordinatnya lalu diolah lebih lanjut hingga mendapatkan peta topografi permukaan bawah air

(peta batimetri) Danau Laukawar. Peta dan data yang sudah dihasilkan pada tahap inilah yang kemudian dijadikan acuan untuk mengukur atau menghitung morfometri bawah permukaan. Beberapa aspek morfometri dapat diukur langsung ketika garis pantai sudah didapat, namun ada pula beberapa aspek yang harus dihitung ketika peta batimetri sudah berhasil didapat. Perhitungan dan/atau pengukuran aspek morfometri adalah seperti tertera pada Tabel 1.

Pengambilan data ini sebenarnya cukup mudah apabila peralatan yang digunakan ideal. Peralatan tersebut adalah GPS Reciver Garmin FishFinder 250 (yang dapat mengirimkan dan menerima gelombang) dan alat transportasi otomatis permukaan danau semacam perahu mesin. Namun pada pelaksanaan, alat yang dipergunakan adalah GPS Reciver Garmin 60cxs (yang hanya dapat menunjukkan koordinat) dan seperangkat perahu dayung manual yang biasa dipergunakan untuk arung jeram. Hal ini mengakibatkan kurang akuratnya data yang

didapat, dan mempengaruhi hasil.

Pengolahan data hasil pengukuran lapangan berupa titik kedalaman dan koordinat dilakukan otomatis menggunakan *software* Surfur8. Pengolahan ini menggunakan metode interpolasi dengan gridding *kriging*.

***) D = Debit outlet danau

Jumlah air yang masuk ke dalam danau dihitung dari beberapa data sekunder yang sudah tersedia. Data topografi dipergunakan untuk menentukan kawasan yang air hujannya masuk ke dalam danau (DAS/Daerah Tangkapan Air). Data isohyet, yang berasal dari

Tabel 1: Pengukuran dan ~~danau perhitungannya~~ aspek morfometri

No	Aspek Morfometri	Simbol	Metode	Keterangan
1	Panjang Maksimum	Lm	Ukur	Juga Bappeda
2	Panjang Maksimum Efektif	Lmc	Ukur	Daerah
3	Lebar Maksimum	Wm	Ukur	Daerah
4	Lebar Maksimum Efektif	Wmc	Ukur	Daerah
5	Lebar Rata- Rata	W	Ukur	Daerah
6	Kedalaman Maksimum	Dm	Ukur	Daerah
7	Kedalaman Rata- Rata	Dxm	Ukur	Daerah
8	Kedalaman Relatif	Zr	Ukur	Daerah
9	Luas Permukaan	A	Ukur	Daerah
10	Keliling	S	Ukur	Daerah
11	Volume	V	Ukur	Daerah
12	Perkembangan Pantai	Sd	Ukur	Daerah
13	Perkembangan Volume	Vd	Ukur	Daerah
14	Insolusity	I	Ukur	Daerah
15	Rasio Danau:DTA		Ukur	Daerah
16	Kemiringan Ledok	Sb	Ukur	Daerah
17	Lama Tinggal Air	Rt	Ukur	Daerah

*) B = Luas daratan di tengah danau

***) DTA= Luas Daerah Tangkapan. Ukur

PET = Evapotraspirasi
T = Suhu udara rata- rata per bulan

I = Indeks panas tahunan
a = koefisien tempat

$$a = (675 \times 10^{-9} (I^3)) - (771 \times 10^{-7} (I^2)) + (1792 \times 10^{-5} \times I) + 0,49239$$

$$I = \sum_i (\text{Jan-Des})$$

$$i = (T/5)^{1,514}$$

Kebutuhan air didapat dari jumlah objek yang terdapat di Kabupaten Karo. Objek yang membutuhkan air tersebut adalah: manusia (kebutuhan air domestik), hewan ternak (kebutuhan air untuk peternakan), luas lahan pertanian (kebutuhan air untuk pertanian), luas tambak ikan (kebutuhan air untuk perikanan), dan jumlah industri (kebutuhan air untuk industri). Perhitungan kebutuhan air dijelaskan dalam Tabel 2.

Air yang masuk ke dalam danau akan menjadi ketersediaan air. Kebutuhan air yang sudah dihitung jumlahnya akan dibandingkan dengan ketersediaan air untuk menganalisis kebutuhan air mana saja yang dapat dipenuhi oleh Danau Laukawar dan Daerah Tangkapan Air-nya.

2	Peternakan	Data jumlah ternak (BPS)
3	Pertanian	Data luas pertanian (BPS)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah tangkapan air/DAS

Daerah tangkapan air Danau Laukawar didapat dengan mengolah data ketinggian (kontur) yang didapat dari Bappda Kabupaten Karo (data sekunder). Pengolahan data ini menghasilkan luas Daerah Tangkapan Air Danau Laukawar adalah 7605932 meter persegi. Penggunaan lahan didominasi oleh hutan yang menutup 75% diantara keseluruhan daerah tangkapan. Sisanya ditutupi oleh tegalan, semak belukar, dan Danau Laukawar itu sendiri.

Kondisi morfometri

Dari 17 aspek morfometri yang akan diketahui, beberapa diantaranya didapat dengan pengukuran, baik pengukuran langsung lapangan, maupun pengukuran menggunakan alat bantu. Garis pantai danau diketahui dengan menggunakan fasilitas google earth dengan citra tahun 2006 yang diukur pada agustus 2013.

Tabel 2: Perhitungan kebutuhan air

No	Kebutuhan Air	Sumber	Perhitungan
1	Domestik	Data jumlah penduduk (BPS)	$Q_d (m^3) = 365 \text{ hari} \times ((Q_u \cdot 12000) + (Q_r \cdot 60) / 1000)$

Garis pantai yang sudah diketahui ini dapat memberikan beberapa aspek morfometri permukaan seperti; panjang maksimum, panjang maksimum efektif, lebar maksimum, lebar maksimum efektif, lebar rata-rata, keliling danau, dan luas danau. Hasilnya seperti tercantum dalam Tabel 3 berikut:

Tabel 3: Aspek morfometri hasil pengukuran

N o	Aspek Morfom etri	Satua n	Nilai
1	Panjang maksim um	Mete r	1989
2	Panjang maksim um efektif	Mete r	1989
3	Lebar maksim um	Mete r	871
4	Lebar maksim um efektif	Mete r	849
5	Lebar rata-rata	Mete r	547
6	Keliling	Mete r	6223
7	Luas	Mete r	10888 76

		perse gi	
--	--	-------------	--

Garis pantai yang sudah didapat juga dapat menunjukkan beberapa aspek morfometri lainnya, namun kali ini harus menggunakan perhitungan nilainya didapat. Diantaranya adalah: perbandingan luas danau dan daerah tangkapannya, *insolusity*, kemiringan ledok, dan perkembangan pantai.

Perbandingan antara DTA dan permukaan danau adalah 7,4:1, atau dengan rasio 0,1431. Angka ini akan mempengaruhi perkiraan air yang akan masuk ke dalam danau, durasi air menetap di dalam danau, besaran debit outlet danau, dan hubungan antara ketiganya. Hakanson (2005) juga menyatakan bahwa ada hubungan yang nyata antara daerah tangkapan dan danaunya. Air yang masuk ke DTA tidak akan masuk sendirian jika sudah melalui tanah, air akan membawa material lain yang akan mempengaruhi sedimentasi di danau tersebut.

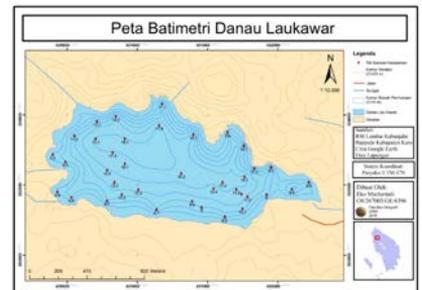
Nilai *insolusity* menjadi 0 (nol), karena tidak adanya daratan yang berada di tengah danau. Kemiringan ledok ada pada nilai 0,06. Nilai ini akan mempengaruhi kecepatan air

yang melewati daerah tangkapan air lalu masuk ke danau. Kecepatan ini yang kemudian akan juga mempengaruhi maretial yang dilewatinya ke dalam danau.

Perkembangan pantai Danau Laukawar ada pada nilai 1,6. Menurut Hakanson (1981) dan Wetzel (1983), danau dengan nilai perkembangan pantai antara 1 dan 2 akan cenderung membentuk elips. Teori ini dapat teruji di lapangan dengan melihat bentuk Danau Laukawar yang memang cenderung membentuk elips. Makin panjang garis pantai, maka akan makin besar pula produktifitas danau tersebut. Hal tersebut dikarenakan jumlah interaksi antar air dan tanah yang makin banyak seiring panjangnya garis pantai (Welch, 1952).

Aspek morfometri lainnya dapat diketahui dengan pengukuran dan/atau perhitungan setelah mendapatkan peta batimetri. Proses pembuatan peta ini tidak terlalu berjalan baik karena beberapa kekurangan seperti dijelaskan sebelumnya. Kekurangan alat yang ideal, berefek pada pelaksanaan pengambilan data, ditambah cuaca berkabut. Jika saja salah

satu faktor yang menjadi masalah tersebut diatas dapat diatasi, kemungkinan hasil yang diukur dapat menjadi lebih baik.



Gambar 1: Batimetri Danau Laukawar

Titik merah adalah titik dimana sampel kedalaman diukur. Dapat dilihat terjadi penumpukan sampel di bagian tenggara danau. Titik ini tidak sesuai dengan rencana yang telah dibuat, namun karena kondisi ketika pengukuran lapangan dan dinamika teknis pengukurannya, rencana tersebut gagal terpenuhi dan menghasilkan titik sebagaimana terlihat dalam peta. Terjadi kekurangan sampel di tengah dan tengah agak ke barat. Di beberapa bagian, kontur batimetri terlihat janggal dengan adanya lekukan kontur yang terikat dengan sampel kedalaman.

Hal ini mempengaruhi bentuk kontur morfometri hasil interpolasi titik sampel yang telah diukur. Terlihat di beberapa teluk danau bentuk kontur

morfometri hampir membentuk sudut dan kaku, tidak halus. Namun sangat halus dibagian tengah yang titik sampelnya sedikit.

Peta Batimetri yang telah dihasilkan ini dapat mengukur dan/atau menghitung aspek morfometri lainnya yang belum didapat; kedalaman maksimum, kedalaman rata-rata, kedalaman relatif, lama tinggal air (*retention time/Rt*), volume dan perkembangan volume.

Nilai kedalaman relatif Danau Laukawar adalah 1,5%, menunjukkan bahwa Danau Laukawar merupakan danau yang memiliki tingkat stabilitas rendah. Artinya, Danau Laukawar adalah danau yang mudah sekali mengalami pengadukan karena pengaruh dari luar, seperti pengaruh angin (Lukman dan Ridwansyah, 2009). Hal ini mengacu apa yang dikatakan Wetzl, 1983, bahwa danau yang Zr-nya rendah memiliki stabilitas yang rendah. Danau yang memiliki stabilitas tinggi adalah danau yang nilai Zr-nya diatas 4%.

Danau Laukawar memiliki 1 outlet di sebelah timur danau. Outlet ini memiliki bangunan yang dapat mengatur debit outlet. Lintasan outlet bangunan selebar 92cm, pada

saat pengukuran lapangan, 5 september 2013, berkecepatan 238,73 cm/det dan tinggi 17cm. Sehingga debit real time adalah 0,3733 m³/detik. Dengan asumsi terjadi *turn over* dan debit outlet sama sepanjang tahun, maka Lama Tingga Air, atau *Retention Time*, Danau Laukawar adalah 341,11 hari, hampir setahun. Nilai ini nantinya akan mempengaruhi perkiraan perkiraan yang dilakukan untuk pemenuhan kebutuhan air tertentu. Rausch dan Heinemann dalam Petts (1984), lama tinggal air dalam danau akan memberikan peranan penting, seperti efisiensi perangkapan sedimen dan hara. Lama Tinggal Air Danau Laukawar yang tidak sampai 1 tahun dapat menjadi acuan awal untuk penelitian biota danau kedepannya.

KETERSEDIAAN DAN KEBUTUHAN AIR

Ketersediaan air

Ketersediaan air adalah air hujan yang masuk kedalam daerah tangkapan hujan danau. Air ini kemudian masuk ke danau dan keluar melalui outlet. Luas daerah tangkapan air adalah 7605932 meter persegi, dan curah hujan (yang didapat dari

Bappeda Kabupaten Karo) ada dalam kelas 2000-2500 mm/tahun. Setelah dikurangi proses evapotranspirasi yang terjadi,, ketersediaan air Danau Laukawar berkisar antara, minimal, 10.693.892,43 sampai, maksimal, 15.263.931,93 meter kubik pertahun.

Kebutuhan air

Kebutuhan air yang akan dihitung adalah kebutuhan air seluruh kecamatan di Kabupaten Karo. Kebutuhan ini nantinya akan dipilih mana yang akan dipenuhi Danau Laukawar dan daerah tangkapan airnya dengan pertimbangan tertentu. Kebutuhan air yang dihitung adalah kebutuhan air domestik, peternakan, dan pertanian, berdasarkan data yang dirilis Badan Pusat Statistik. Kebutuhan air industri tidak diikutsertakan karena alasan keberadaan data dan perikanan yang tidak ada.

Kebutuhan air tiga kategori diatas untuk seluruh kecamatan di Kabupaten Karo adalah 5.170.346.500 meter kubik (lebih dari 5,17 milyar m³). Yang paling mendominasi adalah kebutuhan air untuk pertanian sebesar 5,15 milyar m³, sisanya adalah gabungan kebutuhan air domestik dan kebutuhan air untuk peternakan.

Hal ini dapat dimaklumi karena profesi kebanyakan masyarakat Kabupaten Karo adalah sebagai petani, yang mengakibatkan luasnya lahan pertanian.

Pemenuhan kebutuhan air

Jelas sekali bahwa kabutuhan air Kabupaten Karo tidak dapat dipenuhi oleh Danau Laukawar dan daerah tangkapan airnya. Dilihat dari jumlah, Danau Laukawar dan daerah tangkapan airnya hanya dapat menyedianan maksimal 15 juta meter kubik, dan kebutuhannya mencapai 5 milyar meter kubik.

Pertimbangan utama untuk memilih kebutuhan air mana yang akan dipenuhi oleh Danau Laukawar dan daerah tangkapan airnya adalah arah aliran outlet danau. Hal ini penting, karena jika tidak memperhatikan hal ini, maka harus ada perencanaan aliran yang akan memakan biaya. Arah alirannya adalah ke arah Kecamatan Naman Teran dan Kecamatan Simpang Empat. Kebutuhan air kedua kecamatan ini pun tidak semua dapat tercukupi karena, hanya Kebutuhan air domestik, kebutuhan air untuk peternakan, dan kebutuhan air untuk pertanian sawah saja. Jumlahnya

adalah 6.330.649 meter kubik. Sisa air sebanyak 3,7- 8,7 juta meter kubik diasumsikan tetap mengalir dan dipergunakan oleh kecamatan lain.

KESIMPULAN

1. Peta Batimetri yang dihasilkan kurang akurat karena keterbatasan alat yang dipergunakan dan cuaca ketika pengambilan sampel kedalaman.
2. Beberapa aspek morfometri yang dihasilkan:
 - a. Volume Danau Laukawar adalah 11.004.363 m³.
 - b. Luas Permukaan Danau Laukawar adalah 1.088.876 m².
 - c. Nilai *Shoreline Development* Danau Laukawar adalah 1,6. Artinya Danau Laukawar cenderung membentuk elips dan bukan danau yang produktif
 - d. Danau Laukawar adalah danau yang tidak stabil, ditunjukkan nilai Kedalaman Relatifnya yang 1,57. Danau ini mudah mengalami pengadukan karena pengaruh angin yang kencang.

Dengan masukan air hujan sebesar 10 s/d 15 juta m³/tahun, Danau Laukawar hanya dapat memenuhi Kebutuhan Air Domestik dan Kebutuhan Air

Pertanian Sawah di Kecamatan Naman Teran dan Kecamatan Simpang Empat sebesar 6.330.649 m³. Kecamatan Kecamatan Naman Teran dan Kecamatan Simpang Empat dipilih mengingat arah aliran outlet danau yang menuju kedua kecamatan tersebut. Kelebihan air sebesar 3,7 s/d 8,7 juta m³ diasumsikan Country Study. *CATO Journal*, 31(2), 315-338.