

# **PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK MONITORING PERKEMBANGAN MORFOLOGI DELTA SUNGAI JENEBERANG MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT MULTI TEMPORAL**

**Nursyamsi Junus**

*nunukp@yahoo.com*

*Komp.Perikanan Prop.Sul.Sel*

**Hartono dan Sukwardjono**

*Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Indonesia*

## **INTISARI**

Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan citra Landsat TM dan ETM+ untuk memantau perkembangan morfologi dan perubahan bentuk lahan kepesisiran yang terjadi pada delta Sungai Jeneberang selama rentang waktu 1989-2006 serta mengkaji kemampuan citra penginderaan jauh terutama citra Landsat dalam mendeteksi perubahan geomorfologi yang terjadi pada daerah delta Sungai Jeneberang. Daerah penelitian meliputi kawasan delta Sungai Jeneberang Kota Makassar Propinsi Sulawesi Selatan. Metode perolehan data primer adalah dengan menggunakan citra penginderaan jauh *time series* dan diolah dengan Sistem Informasi Geografis (SIG), pengukuran di lapangan (gelombang, arus, pasang surut) dan analisis sampel sedimen tersuspensi di laboratorium. Data sekunder dikumpulkan dari Badan Meteorologi dan Geofisika berupa peta, gambar, data statistik, data meteorologi serta laporan tertulis. Analisis data dilakukan dengan integrasi antara analisis kuantitatif dan analisis deskriptif dimana data-data hasil pengukuran lapangan digunakan untuk mendukung analisis deskriptif yang didapatkan melalui interpretasi citra penginderaan jauh. Pengolahan SIG akan menghasilkan peta-peta perubahan garis pantai yang terjadi pada delta Sungai Jeneberang selama rentang waktu 1989-2006. Hasil penelitian diperoleh adanya fluktuasi panjang garis pantai dan luasan delta, bentuk daratan delta secara umum tidak mengalami perubahan yakni dari tahun 1989 ke tahun 2006 yakni berbentuk *multi lobate* kemudian berbentuk *lobate*. Delta mengalami perluasan rata-rata sebesar 8,84 ha/tahun namun pada tahun 2001-2005 mengalami pengurangan luas sebesar 2,38 ha/tahun. Panjang garis pantai bertambah rata-rata 23,10 km/tahun, namun pada tahun 1999-2001 garis pantai berkurang karena abrasi sebesar 37,02 km/tahun. Pengaruh fluvial dan pengaruh marin memainkan peranan yang hampir sama pada muara sungai Jeneberang sehingga proses abrasi dan sedimentasi terjadi bergantian pada beberapa bagian delta. Perubahan musim juga sangat dominan dalam pembentukan delta Sungai Jeneberang dimana pada musim barat debit sungai yang tinggi membawa sejumlah sedimen dan diendapkan pada bagian muara. Luas areal permukiman di kawasan delta dari tahun 1989-2006 bertambah sebesar 1392 ha.

**Kata kunci :** Penginderaan Jauh dan SIG, Perubahan morfologi delta Sungai Jeneberang, Abrasi dan Sedimentasi.

## ABSTRACT

*Objective of this research was exploit the image of Landsat TM and ETM+ to monitor geomorphology of Jeneberang river delta, change of coastline during 1989-2006 and also to study the ability of satellite image especially Landsat image for detecting geomorphology changes on Jeneberang River delta. Research area covers the area of Jeneberang River delta, Makassar Regency, South Sulawesi Province. Primary data obtained by using time series satellite images afterwards it processed with the Geographical Information System (GIS);. field surveys to measure wave, tide, current, suspended sediment. Secondary data collected from Chamber of Meteorology and Geophysics and also another source such as topographic maps, pictures, statistic data, from research reports. Data analysis conducted with the integration of quantitative analysis and descriptive analysis where data from field measurement used to support the descriptive analysis by interpretation satellite image. Processing data using GIS obtain geomorphology change map at the Jeneberang River delta during 1989-2006. The result of research is obtained fluctuation of coastline and area of delta. Landform of delta continent have changed from multi lobate shape become lobate shape. Area of delta increasing about 8.84 ha/year but in 2001 to 2005, area of delta experiencing of reduction about 2,38 ha/year. Length of coastline increasing about 23.10 km/year, but in 1999 to 2001 coastline decrease about 37.02 km/year because abrasion. Fluvial and marine influence play important role on the landform of Jeneberang River delta. Abrasion and sedimentation process happened at some part of delta. Season change also very dominant in forming of Jeneberang River delta where in the rainy season it charge sediment load to the current river and accumulated on the river mouth. Settlement area of delta from 1989 to 2006 increasing about 1392 ha*

**Keywords:** *Remote Sensing and Geographical Information Systems (GIS), Erosion and Sedimentation, Geomorphology Change of Jeneberang River Delta.*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara bahari dimana dua per tiga dari seluruh luas wilayahnya merupakan wilayah laut. Potensi kekayaan lain yang dimiliki oleh Indonesia sangat beragam diantaranya adalah terumbu karang, ekosistem mangrove, ekosistem padang lamun, sumberdaya perikanan laut pelagik dan demersal, bahanbioaktif, minyak dan gas alam, mineral, jasa-jasa lingkungan yang meliputi kawasan pesisir dan lautan sebagai tempat rekreasi dan pariwisata, media transportasi dan komunikasi serta sumber energi seperti *ocean thermal energy consumption*, energi dari gelombang laut dan energi pasang surut (Hutabarat dan Evans, 1985).

Salah satu bentang lahan yang memiliki sumber daya alam yang sangat potensil untuk dikembangkan adalah delta. Karena nilai ekonomi yang bertautan dengan suatu endapan delta, maka tidak mengherankan bila terdapat perhatian

besar terhadap endapan ini (Hehanussa et. al, 1975). Delta merupakan massa sedimen yang sebagian terletak di bawah permukaan air dan sebagian lagi terletak di atas permukaan air, yang terendapkan pada tubuh air (laut atau danau) akibat aktivitas sungai. Endapan delta merupakan sedimen yang ditransport oleh sungai dan diendapkan pada daerah perbatasan antara lingkungan kontinental dan marin.

Daerah delta merupakan salah satu bentuk lahan kepeesisiran yang memiliki lingkungan dinamis karena adanya pengaruh marin dan pengaruh fluvial. Di suatu sisi perkembangan delta akan membentuk dataran-dataran baru atau sering disebut dengan istilah tanah timbul yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat baik sebagai lahan permukiman, lahan pertanian maupun sebagai lahan tambak tetapi di sisi lain perkembangan delta yang sangat cepat dapat berdampak diantaranya terhadap pendangkalan pada perairan yang mengganggu lalu lintas pelayaran, intrusi air laut di daerah pesisir dan perubahan pola arus sehingga menyebabkan beberapa daratan akan tererosi. Selain itu aspek hukum dapat timbul dalam konflik kepemilikan dan pengelolaan kawasan delta (Davis Jr, 1996).

Beberapa kota dan kawasan penting terletak dan berkembang pada daerah delta, selain itu fungsi daerah delta sebagai kawasan penyangga (*buffer zone*) terhadap tenaga destruktif dari lautan yang menyebabkan abrasi, sehingga pengetahuan mengenai kawasan ini sangat penting. Monitoring terhadap perkembangan daerah delta sangat efektif menggunakan data penginderaan jauh multi temporal dan multi spektral. Dengan kajian melalui pengamatan multi temporal dapat didapatkan gambaran mengenai kecenderungan perkembangan delta, prediksi kecepatan perkembangan delta dan faktor-faktor yang berperan dalam perkembangan suatu endapan delta.

Delta Sungai Jeneberang merupakan daratan yang terbentuk pada muara Sungai Jeneberang yang terletak di sebelah barat Kota Makassar. Sungai Jeneberang sendiri merupakan salah satu sungai besar di Sulawesi Selatan dengan pola aliran dendritik. Hulu sungai berada pada Gunung Bawakaraeng di Kabupaten Gowa sedangkan bagian hilir bermuara di Selat Makassar (Whitten, 1987). Pada muara Sungai Jeneberang terbentuk delta yang dari waktu ke waktu terus mengalami perubahan. Selain sebagai daerah resapan, kawasan delta Sungai Jeneberang sejak tahun 2000 secara intensif dikembangkan untuk permukiman, pusat bisnis dan pariwisata bahari. Delta ini merupakan kawasan yang cukup strategis dari segi letak, namun hingga saat ini belum banyak diteliti.

Berdasarkan uraian diatas, disusun pertanyaan penelitian sebagai berikut :

- 1). Bagaimana perkembangan morfologi dan perubahan bentuk lahan kepeesisiran yang terjadi pada delta Sungai Jeneberang selama rentang waktu 17 tahun

(1989-2006) ? Apakah perubahan tersebut cukup signifikan? 2). Apakah Citra Landsat TM dan ETM+ dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan geomorfologi yang terjadi pada delta Sungai Jenebrang ? Se jauh mana kemampuan citra Landsat TM dan ETM+ mampu mendeteksi, mengidentifikasi dan menganalisis perubahan geomorfologi yang terjadi pada daerah delta ?

Dari pertanyaan penelitian diatas, maka dapat dirumuskan dua tujuan penelitian yakni : 1) Mengkaji perkembangan morfologi dan perubahan bentuk lahan kepelepasiran yang terjadi pada delta Sungai Jeneberang selama rentang waktu 1989-2006, 2) Mengkaji kemampuan citra penginderaan jauh terutama citra Landsat TM dan ETM+ dalam mendeteksi perubahan geomorfik yang terjadi pada daerah delta. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menyediakan informasi perubahan temporal yang terjadi pada daerah delta Sungai Jeneberang sebagai masukan bagi instansi terkait untuk perencanaan dan manajemen pola penggunaan lahan pada kawasan delta Sungai Jeneberang.

### **METODE PENELITIAN**

Desain penelitian dilakukan dengan menggunakan metode sampling dan metode kuantitatif. Metode sampling digunakan dengan cara *purposive sampling* yakni pengambilan sampel secara sengaja pada setiap wilayah yang dianggap cukup mewakili populasi serta mudah dijangkau. Metode kuantitatif digunakan untuk mengukur, menghitung serta menganalisis data lapangan yang diperoleh kemudian mengintegrasikan hasilnya dengan data hasil interpretasi citra sehingga diperoleh gambaran deskriptif proses yang terjadi dan memberikan informasi yang komprehensif.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer terdiri atas citra Landsat 5 TM path/row 114/064 tanggal perekaman 1 April 1989, citra Landsat 7 ETM+ path/row 114/064 tanggal akuisisi 20 September 1999, 7 Juli 2001, 12 Maret 2005 dan 13 Juli 2006, data pasang surut, data ketinggian gelombang dan data sedimen tersuspensi. Data sekunder terdiri atas data iklim, data kependudukan, Peta RBI, peta geologi, data sosial ekonomi dan data pendukung lainnya dari hasil-hasil penelitian.

Analisis data yang digunakan adalah integrasi antara analisis kuantitatif dan analisis deskriptif, dimana data-data hasil pengukuran di lapangan digunakan untuk mendukung analisis deskriptif yang didapatkan melalui interpretasi citra penginderaan jauh. Data yang diperoleh dihitung dan diolah kemudian disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan peta-peta tematik penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Koreksi Radiometrik

Data citra Landsat TM dan ETM+ yang diperoleh dari SEAMAO Biotrop sudah mempunyai level koreksi 1G (radiometrik dan geometrik sistematis) perekaman tanggal 1 April 1989, 20 September 1999, 7 Juli 2001, 12 Maret 2005 serta tanggal 13 Juli 2006, maka tidak perlu lagi dilakukan koreksi radiometrik.

### Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan dengan cara rektifikasi dengan melakukan transformasi koordinat dan resampling atau rektifikasi citra ke peta (*image to map rectification*). Meskipun citra telah terkoreksi pada level 1 G, namun masih perlu dilakukan koreksi karena *residual error* geometrik masih dapat mencapai – 250 m. Koreksi geometrik dilakukan dengan menggunakan GCP atau model relief dengan melakukan transformasi polinomial orde 1 mengingat kondisi daerah penelitian yang tergambar di citra memiliki medan yang relatif datar dan seragam, dengan 18 titik kontrol pada obyek perempatan jalan dan percabangan sungai. Metode resampling yang dipakai adalah *nearest neighbour*.

Berdasarkan proses dan hasil perhitungan melalui perangkat software ER Mapper 7.0, diperoleh nilai RMSE citra Landsat tahun 1989, 1999, 2001, 2005 dan 2006 masing-masing adalah 0.451, 0,417, 0.380, 0.312 dan 0,256 maka tingkat ketelitian dari koreksi geometrik yang telah dilakukan adalah  $0,451 \times 30 \text{ m} = 13.55 \text{ m}$ ;  $0,417 \times 30 \text{ m} = 12,53$ , hal ini menunjukkan bahwa penilaian terhadap kontrol medan telah memenuhi syarat ketelitian sehingga ketelitian dan kebenaran dari hasil koreksi geometrik sudah dapat diterima karena nilai hasil koreksi lebih kecil dari nilai  $\frac{1}{2}$  resolusi spasial (15 meter)..

### Penyusunan Citra Komposit

Citra komposit yang digunakan pada penelitian ini adalah gabungan dari band band biru (band 1), band hijau (band 2) dan band merah (band 3) yang menghasilkan citra warna asli (*true color*) memberikan kenampakan dan batas antara perairan dan daratan, dapat memperlihatkan dengan jelas suspensi sedimen pada perairan serta bagian delta bawah perairan (*subaqueous delta*) dan prodelta. Pada komposit 321 dapat diidentifikasi satuan bentuk lahan pada dataran delta diantaranya gisik, spit, laguna, dataran alluvial pantai, dataran pasang surut bervegetasi dan tanggul sungai (buatan), sedangkan satuan bentuk lahan lainnya tidak dapat diidentifikasi karena keterbatasan resolusi citra.

Komposit yang juga digunakan dalam pada penelitian ini adalah gabungan saluran 457 (*false color*). Citra komposit yang dihasilkan dari saluran 457 menghasilkan citra dengan batas yang sangat jelas antara daratan dan tubuh perairan.

## **Interpretasi Citra**

Proses interpretasi citra bertujuan untuk memberikan identifikasi kenampakan-kenampakan atas obyek-obyek yang tergambar atau terekam pada citra penginderaan jauh. Interpretasi dilakukan secara visual dengan menggunakan citra yang telah mengalami *processing* yaitu berdasarkan citra komposit kombinasi saluran 1, 2 dan 3 (*true colour*) dan citra komposit saluran 4, 5 dan 7.

Parameter-parameter yang diperoleh melalui hasil interpretasi citra Landsat ETM+ adalah bentuk lahan, lereng dan penggunaan lahan, sebagai berikut :

### **a. Bentuk lahan :**

Daerah penelitian dibedakan atas dua bentuk lahan, yaitu :

- Bentuk lahan asal proses fluvial yakni : tanggul sungai, dataran banjir, dan delta.
- Bentuk lahan asal proses marin yakni : gisik, spit (bura), laguna dan rawa payau.

### **b. Lereng :**

Pada daerah pantai dan daerah kepelepasiran kenampakan pada citra memiliki tekstur halus hingga kasar dengan pola memanjang tidak teratur. Tidak nampak adanya bayangan pada citra menandakan bahwa daerah penelitian merupakan daerah datar.

### **c. Penggunaan Lahan :**

Berdasarkan hasil interpretasi citra Landsat dan uji lapangan, maka penggunaan lahan pada daerah delta Sungai Jeneberang meliputi sawah, tambak, permukiman, kebun campuran/tegalan, semak belukar dan lahan kosong.

## **Uji Akurasi Interpretasi**

Dalam penelitian ini dilakukan uji ketelitian citra Landsat ETM+ untuk pemetaan garis pantai yang dilakukan dengan menggunakan Metode Short. Hasil uji ketelitian interpretasi dan ketelitian pemetaan terhadap tubuh perairan dan daratan (pemetaan garis pantai) bentuk lahan marin pada kawasan delta adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Matriks Uji Ketelitian Interpretasi dan Ketelitian Pemetaan Garis Pantai

Garis Pantai Di Lapangan	Hasil Interpretasi		Jumlah	Omisi	Komisi	Ketelitian Pemetaan
	Perairan	Daratan				
Perairan	9	1	10	10%	4,65%	$-\frac{9}{9+1+2} \times 100 = 75\%$
Daratan	2	7	9	22,22%	14,28%	$-\frac{7}{7+2+1} \times 100 = 70\%$
Jumlah	11	8	19			

Sumber: Hasil Interpretasi dan Cek Lapangan Tahun 2007

$$\text{Uji ketelitian hasil interpretasi} = \frac{9+7}{19} \times 100 = 84.21\%$$

$$\text{Uji Ketelitian hasil pemetaan} = \frac{75,00 + 70,00}{2} = 72.5\%$$

Berdasarkan hasil uji ketelitian interpretasi citra diperoleh hasil ketelitian sebesar 84,21%, sedangkan hasil uji ketelitian pemetaan sebesar 72,5%. Hal ini menunjukkan bahwa citra Landsat ETM+ dapat digunakan untuk pemetaan garis pantai. Nilai ketelitian interpretasi ini tergolong cukup baik untuk jenis citra Landsat ETM+ dengan resolusi spasial 30 meter, meskipun batas minimal kajian ketelitian untuk studi lingkungan mensyaratkan 85%. Kesalahan dalam interpretasi disebabkan oleh kenampakaan kondisi penelitian yang banyaknya daerah rawa payau dan tanah yang relatif basah. Pada analisis saluran citra 457 tanah basah dimasukkan dalam kategori perairan namun setelah dilakukan cek lapangan ternyata tanah basah merupakan daratan.

### **Tumpang Susun Citra (*Overlay*)**

Tumpang susun citra disajikan secara bertahap untuk melihat perubahan geomorfologi yang terjadi pada citra, pada bagian mana perubahan geomorfik tersebut terjadi sehingga dapat dianalisis penyebab terjadinya serta antisipasi terhadap kemungkinan dampak negatif terhadap perubahan tersebut. Tumpang susun dilakukan antara citra tahun 1989 dengan citra tahun 1999, citra tahun 1999 dengan tahun 2001, citra tahun 2001 dengan tahun 2005, citra tahun 2005 dan tahun 2006, kemudian dilakukan overlay pada keseluruhan citra (lima buah citra) untuk memperoleh gambaran komprehensif perubahan geomorfik pada kawasan delta.

Hasil overlay citra tahun 1989 dan tahun 1999 memperlihatkan adanya perubahan pada delta terutama yang terjadi pada muara sungai dan pada bagian spit. Dari hasil overlay tahun 1989 dan tahun 1999 memperlihatkan terjadinya erosi pada mulut muara sungai yang menggerus daratan pada ujung muara sungai. Terlihat perubahan pada kiri kanan sungai yang semakin melebar dimana penampang sungai bertambah dibanding pada tahun 1989, disebabkan pengerukan

pada tepi sungai sebagai bagian dari proyek normalisasi sungai. Pada tahun 1999 telah dibangun jembatan pada daerah Teluk Losari yang akan menghubungkan antara daerah kota dengan dataran delta (Tanjung Bunga dan Tanjung Merdeka), selain itu dilakukan pula pembangunan jalan sekaligus tanggul pada muara sungai yang lama. Perubahan yang mencolok nampak pada bagian spit, dimana terjadi pergeseran letak dan perubahan bentuk yang disebabkan oleh perubahan musim yang terjadi selama rentang waktu 1989-1999 serta perubahan pola angkutan sedimen sepanjang pantai. Pada tahun 1999 juga terjadi penambahan luas daratan pada daerah spit yang disebabkan oleh penimbunan untuk perluasan daratan (pengembangan kota).

Hasil overlay peta tahun 1999 dan tahun 2001 memperlihatkan perubahan geomorfik yang tidak terlalu signifikan. Perubahan terutama terjadi pada tepi muara sungai lama (muara bagian utara) dimana pada tahun 2001 terlihat adanya akresi pada muara lama, sehingga daratan bertambah sekian meter ke arah pantai. Selain itu perubahan tersebut, hanya terlihat perubahan kecil pada tepi Sungai Jeneberang yang sedikit terkikis.

Berdasarkan informasi yang disadap dari citra satelit dan hasil overlay peta tahun 2001 dan 2005 menggambarkan perubahan yang terjadi selama rentang waktu empat tahun yakni pada bagian spit, pada bagian tepi muara lama dan pada tepi muara baru. Pada daerah spit tepatnya pada bagian barat, terjadi pengikisan sehingga luasan spit berkurang, hal ini kemungkinan disebabkan oleh besarnya energi gelombang dan kekuatan arus yang menyebabkan pengikisan meskipun perubahan tersebut tidak terlalu nampak. Perubahan juga yang terjadi tepi muara lama yang bentuk tepi muara yang agak pipih dibanding sebelumnya yang berbentuk cembung ke laut, demikian pula pada bagian tepi muara yang baru nampak adanya perpindahan sedimen sehingga sedikit merubah konfigurasi garis pantai dari tahun sebelumnya.

### **Pengukuran Tinggi dan Periode Gelombang**

Dari data pengukuran lapangan dan hasil perhitungan dari rumus matematis didapatkan bahwa kecepatan angin di daerah penelitian berkisar antara 8,33-10,80 m/detik dengan ketinggian gelombang berkisar antara 0,88-1,40 meter. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa gelombang pada perairan di sekitar delta masih tergolong sedang yakni jika merujuk pada Skala Beaufort masuk pada kategori SS3.

Penentuan sifat gelombang apakah destruktif atau konstruktif yaitu dengan membandingkan nilai  $H_o$  dan nilai  $L_o$ . Gelombang bersifat konstruktif bila nilai  $H_o/L_o < 0,025$ , sedangkan gelombang bersifat destruktif jika nilai  $H_o/L_o \geq 0,025$ .

Berdasarkan perhitungan nilai  $H_o/L_o$ , sifat gelombang di daerah penelitian yakni bersifat *konstruktif*). Sifat gelombang konstruktif merupakan salah satu faktor pendukung bagi terjadinya endapan delta.

### Hasil Pengukuran Kecepatan Arus

Pengukuran arus dilakukan berdasarkan Metode Lagrangian dengan menggunakan pelampung yang posisinya bergerak Hasil pengukuran arus rata-rata berkisar antara 0,059 s/d 0,099 umumnya mengarah ke bagian utara dari Pantai Tanjung Bunga. Kriteria arus susur ditentukan dengan nilai  $V/U_{max}$ , jika nilai  $V/U_{max} \leq 1$ , maka arus susur pantai adalah lemah, namun jika nilai  $V/U_{max} \geq 1$ , maka arus susur pantai adalah kuat. Berdasarkan nilai  $V/U$  maks pada daerah penelitian, maka kriteria kekuatan arus termasuk dalam kriteria lemah.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Dimensi Gelombang di Lapangan

No	Waktu Pengamatan	$H_o$ (cm)	T (detik)	$L_o = 1,56 T^2$ (m)	$H_o/L_o$	Sifat gelombang
1	06.00 WITA	27,9	2.6	10,55	0,026	Destruktif
2	07.00 WITA	18,4	2.6	10,55	0,017	Konstruktif
3	08.00 WITA	19,1	2.8	12,23	0,016	Konstruktif
4	09.00 WITA	21.0	3.2	15,97	0,013	Konstruktif
5	10.00 WITA	22.7	2.8	12,23	0,019	Konstruktif
6	11.00 WITA	23.4	2,7	11,37	0,021	Konstruktif
7	12.00 WITA	25.1	2.0	6,24	0,040	Destruktif
8	13.00 WITA	25.5	2.4	8,99	0,028	Destruktif
9	14.00 WITA	28.5	2.6	10,55	0,027	Destruktif
10	15.00 WITA	21.5	2.0	6,24	0,034	Destruktif
11	16.00 WITA	31.3	4,2	27,52	0,011	Konstruktif
12	17.00 WITA	62.6	4,2	27,52	0,023	Konstruktif
13	18.00 WITA	59.3	4,2	27,52	0,022	Konstruktif
14	19.00 WITA	50.5	4,2	27,52	0,018	Konstruktif
15	20.00 WITA	60.9	4,8	35,94	0,017	Konstruktif
	Rata -rata	33.18	3.15	16.73	0.022	Konstruktif

Sumber : Pengukuran Lapangan Tahun 2007

Berdasarkan data-data dan hubungan antara musim terutama curah hujan, arah angin dan perubahan arah arus laut maka ada kecenderungan bahwa perkembangan delta Sungai Jeneberang berkembang ke arah selatan mengikuti muara sungai. Pada waktu musim hujan (musim barat), debit Sungai Jeneberang menjadi besar dan muatan sedimen yang terbawa juga bertambah besar. Sedimen yang berasal dari sungai ketika mencapai muara terbawa oleh arus yang berasal dari arah barat laut menuju ke arah selatan, kemudian partikel-partikel sedimen sebagian besar diendapkan di daerah tersebut.

### **Hasil Pengukuran Pasang Surut**

Pada daerah penelitian arus di sekitar pantai selain dipengaruhi oleh arus temporer berdasarkan musim, juga dipengaruhi pula oleh arus susur pantai (*longshore current*) dan arus pasang surut (*tidal current*) yaitu arus yang dibangkitkan oleh pasang surut sebelum ombak pecah. Arus pasut berlangsung ketika air laut bergerak ke arah daerah kepelepasiran (*coastal area*) pada saat pasang dan kemudian berubah pada saat surut, terjadi pada suatu periode air tenang. Pada saat berlangsungnya periode air tenang itu kecepatan arus pasang sangat lambat, berhenti dan kemudian berbalik arah.

Karakteristik pasang surut di lapangan adalah jenis pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), yakni dalam waktu 24 jam pada umumnya terjadi satu kali pasang tinggi dan satu kali pasang rendah. Julat pasut (*tidal range*) sebesar 95 cm dengan jangkauan (*range*) range maksimum (*spring tide*) sebesar 95 cm, daerah penelitian termasuk kelas *microtide* artinya memiliki jangkauan pasut yang kecil. Julat pasang surut yang kecil tersebut menyebabkan dataran delta lebih banyak dan lebih cepa t tererosi karena energi gelombang yang diterima oleh endapan delta tersebar secara merata, namun proses sedimentasi masih dapat berlangsung di daerah tersebut kawasan delta Sungai Jeneberang sehingga memungkinkan pembentukan delta sungai.

Hasil pengukuran arus pasang surut (*tidal current*) di lapangan diperoleh kisaran antara 0,010-011 m/detik yang dominan berasal dari arah barat laut Pantai Tanjung Bunga dominan ke arah selatan.

### **Hasil Pengukuran Muatan Sedimen Tersuspensi (*Suspended Sediment*)**

Dalam penelitian ini besar angkutan sedimen yang diukur di lapangan adalah angkutan sedimen tersuspensi serta dilakukan pula pengukuran debit sungai dan kecepatan arus sungai. Sedimen tersuspensi merupakan material yang sangat ringan dimana pada endapan Delta Jeneberang terdiri dari pasir, lempung maupun liat. Karena material ini sangat ringan, maka mampu terangkut hingga ke daerah hilir oleh arus sungai kemudian masuk ke laut dan oleh tenaga oseanografis (gelombang dan arus) sedimen tersebut didorong kembali ke pantai dan akhirnya mengalami proses penenggelaman karena arus tidak mampu lagi untuk mengangkut sedimen, mengendap dan mengalami kompaksi selama bertahun-tahun yang pada akhirnya membentuk endapan delta.

Sungai Jeneberang merupakan salah satu sungai yang memiliki debit sepanjang tahun yang relatif cukup besar. Dari pengukuran debit yang dilakukan di Kanal Patompo diketahui bahwa debit Sungai Jeneberang adalah sebesar 30,5 m<sup>3</sup>/detik. Pengukuran kecepatan arus sungai dilakukan dengan menggunakan *float*

(pelampung arus). Dari pengukuran di lapangan didapatkan bahwa data kecepatan arus sungai adalah sebesar 0,33 m/detik.

Untuk pengukuran besar angkutan sedimen tersuspensi dilakukan di sepanjang zona pantai dengan titik-titik sampel yang telah ditentukan, dengan mengambil sampel air pada permukaan perairan pada kedalaman antara 0,5-1,0 meter dari permukaan air. Penentuan kedalaman tersebut mengacu pada kemampuan Landsat untuk melakukan penetrasi terhadap perairan yaitu sedalam 9-10 meter dari permukaan perairan. Besar angkutan sedimen tersuspensi di lapangan berkisar antara 0,20-0,738 gr/liter, berarti bahwa dalam setahun jumlah angkutan sedimen tersuspensi berkisar 73-270 gr/ltr, nilai tersebut masih jauh dari nilai ambang batas erosi yang diperbolehkan di Indonesia yakni sekitar 30 ton/ha/tahun, namun untuk memperoleh gambaran lebih jelas dapat diteliti dengan menghitung total angkutan *sedimen yield*. Ukuran butir sedimen tersuspensi berdasarkan analisis laboratorium berkisar antara 0,05-2,10 berarti bahwa sedimen merupakan material pasir, lempung dan liat berdasarkan skala ukuran butir sedimen oleh Bird (1970) dalam Sunarto (2004)

### **Analisis Perkembangan Morfologi Delta Sungai Jeneberang Berdasarkan Citra Landsat Multi Temporal**

Metode komparatif berdasarkan analisis citra *time series* dilakukan untuk memantau sejauh mana perkembangan delta Sungai Jeneberang, serta dengan memadukan faktor-faktor oseanografis, karakteristik perairan serta faktor-faktor meteorologis yang berpengaruh terhadap perkembangan delta Sungai Jeneberang.

Dari hasil overlay, interpretasi dan analisis citra yang dilakukan, menunjukkan terjadi perubahan panjang garis pantai dan luas delta Sungai Jeneberang dari tahun 1989 sampai dengan tahun 2006 yang disajikan pada tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Panjang Garis Pantai dan Luas Delta Sungai Jeneberang dari Tahun 1989 - Tahun 2006

No	Tahun	Panjang Garis Pantai (m)	Luas (Ha)
1.	1989	17.015,50	4578,87
2.	1999	17.471,97	4590,12
3.	2001	16.731,67	4604,53
4.	2005	17.214,05	4595,00
5.	2006	18.341,80	4623,56

Sumber : Analisis Citra Landsat Tahun 1989, 1999, 2001, 2005 dan 2006

Tabel 4. Perubahan Panjang Garis Pantai dan Luas Delta Sungai Jeneberang dari Tahun 1989 - Tahun 2006

No	Tahun	Perubahan panjang garis pantai (m)	Perubahan luas (Ha)	Selang waktu (tahun)	Laju rerata (ha/tahun)
1.	1989-1999	45.647,33	11,25	10	1.13
2.	1999-2001	-74.030,09	16,13	2	8.07
3.	2001-2005	48.237,82	-9,53	4	-2,38
4.	2005-2006	112.774,81	28,56	1	28,56

Sumber : Analisis Citra Landsat Tahun 1989, 1999, 2001, 2005 dan 2006

Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa delta Sungai Jeneberang memiliki panjang garis pantai terpanjang pada tahun 2006 (18.341,80 m) dan memiliki garis pantai terpendek pada tahun 2001 (16.731,67 m). Delta Jeneberang memiliki laju pertambahan luas rerata yang paling besar terjadi antara tahun 2005 dan 2006 yaitu 28,56 ha/tahun, pertambahan luas terendah terjadi antara tahun 1989-1999 (10 tahun) yang hanya sekitar 1,13 ha/tahun, sedangkan pada rentang tahun 2001 hingga tahun 2005 justru terjadi pengurangan luasan delta sebesar 2,38 ha/tahun. Salah satu penyebabnya adalah bahwa dalam rentang tahun 2001-2005 Bendungan Bili-bili telah berfungsi dengan efektif sehingga suplai sedimen ke daerah muara makin berkurang, karena sedimen yang masuk kedalam sungai dari daerah hulu akibat adanya aliran permukaan (*run off*) mengendap pada *sabo dam*, *sand pocket* maupun Waduk Bili-bili sehingga sedimen yang sampai ke hilir semakin berkurang. Pada tahun awal dan pertengahan tahun 2006 terjadi banjir bandang dan erosi pada caldera Gunung Bawakaraeng yang mengangkut banyak sedimen ke bagian hilir sungai.

Bila diperhatikan rangkaian perubahan bentuk garis pantai yang terjadi di delta Sungai Jeneberang selaras dengan perubahan proses yang dominan, yaitu dari proses marin ke arah proses fluvial. Berdasarkan hasil overlay citra *time series* serta uraian secara teoritis menunjukkan bahwa secara umum perkembangan yang terjadi di delta Sungai Jeneberang adalah perkembangan maju (*progradasi*) ke arah barat meskipun dengan laju rata-rata kecil yaitu antara 1,13 sampai dengan 2,86 ha/thn.

Perubahan Bentuk dan Garis Pantai Delta Sungai Jeneberang Tahun 1989 - Tahun 2006 dapat dilihat pada Tabel 5. Tabel 6. Perubahan Jenis Penggunaan Lahan di Delta Sungai Jeneberang Tahun 1989 s/d Tahun 2006.

Gambar 1 dan Gambar 2 di bawah ini memperlihatkan perubahan garis pantai dari tahun 1989 sampai dengan tahun 2006 serta bagian-bagian pada kawasan delta yang banyak mengalami perubahan.

Gambar 1 . Hasil Tumpang Susun (overlay) Citra Tahun 1989 , 1999, 2001, 2005 dan 2006 Memperlihatkan Perubahan Bentuk dan Luas Delta Sungai Jeneberang Tahun 1989-2006 19 Gambar 2. Bagian-bagian Delta Sungai Jeneberang yang Banyak Mengalami Perubahan

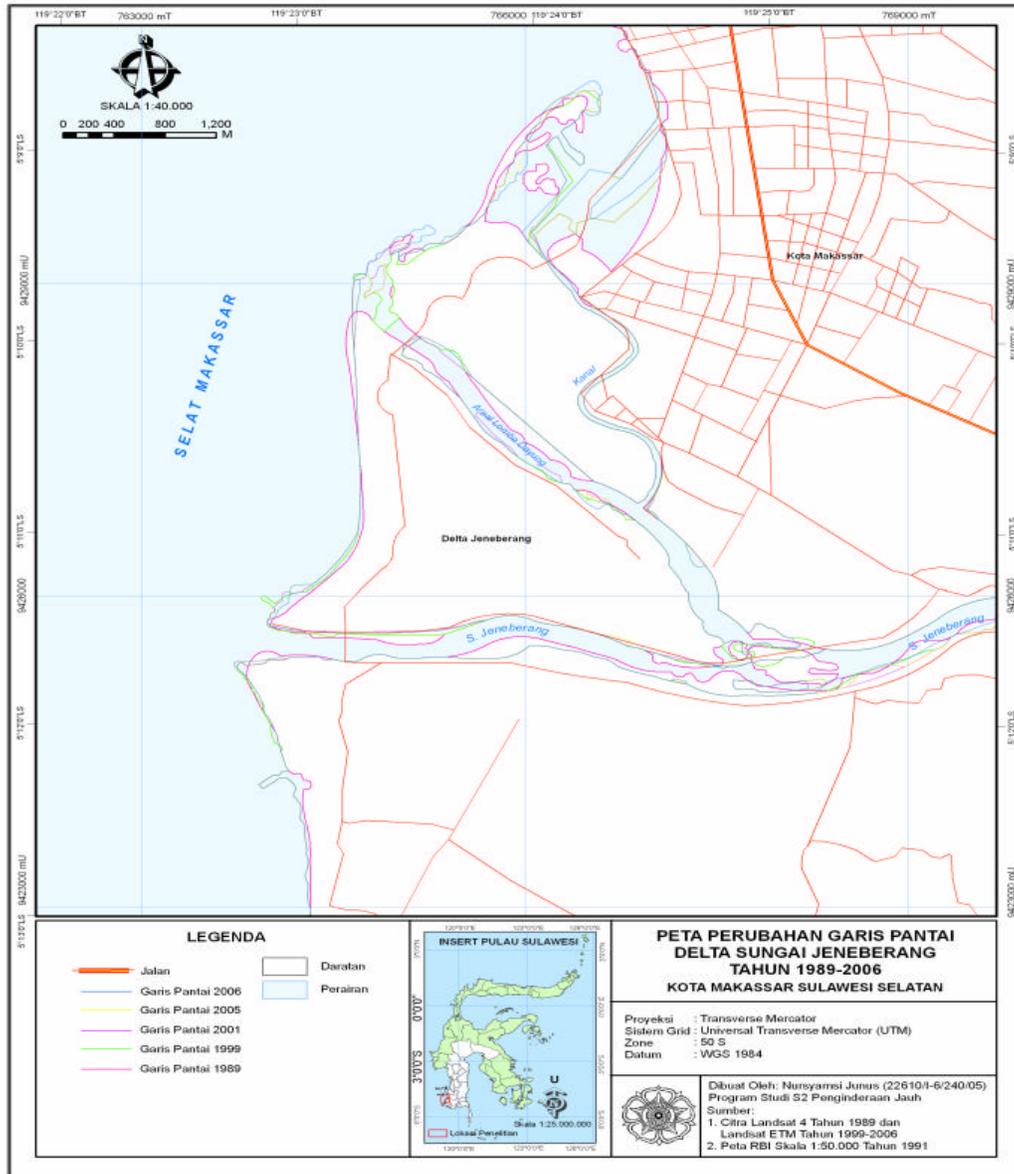
Tabel 5. Perubahan Bentuk dan Garis Pantai Delta Sungai Jeneberang Tahun 1989 - Tahun 2006

Tahun Bentuk Keterangan	Tahun Bentuk Keterangan	Tahun Bentuk Keterangan
1989 Multi lobate delta Delta memiliki dua percabangan alur sungai, satu ke arah utara dan alur lainnya di bagian	1989 Multi lobate delta Delta memiliki dua percabangan alur sungai, satu ke arah utara dan alur lainnya di bagian	1989 Multi lobate delta Delta memiliki dua percabangan alur sungai, satu ke arah utara dan alur lainnya di bagian
Tahun Bentuk Keterangan 2001 Lobate delta Bentuk delta tidak berubah, namun luasan	Tahun Bentuk Keterangan 2001 Lobate delta Bentuk delta tidak berubah, namun luasan	Tahun Bentuk Keterangan 2001 Lobate delta Bentuk delta tidak berubah, namun luasan

Sumber : Analisis Citra Landat TM dan ETM+ Tahun 1989-2006

Tabel 6. Perubahan Jenis Penggunaan Lahan di Delta Sungai Jeneberang Tahun 1989 s/d Tahun 2006

No.	Jenis Penggunaan Lahan	Luas Penggunaan Lahan per Tahun (Ha)				
		1989	1999	2001	2005	2006
1	Gosong	19.07	5.26	8.29	5.26	4.16
2	Pasir/kerakal	285.89	-	1589.93	4588.92	-
3	Rawa/tambak	524.33	-	2.14	-	-
4	Permukiman	1625.59	1,596.55	3004.17	0.82	3017.82
5	Kebun campuran	2123.98	2988.30	-	-	-
6	Dermaga/jeti	-	-	-	-	1045.15
7	Semak belukar	-	-	-	-	556.43
8	Jumlah	4578.86	4590.11	4,604.53	4,595.00	4623.56



Gambar 1 . Hasil Tumpang Susun (overlay) Citra Tahun 1989 , 1999, 2001, 2005 dan 2006. Memperllihatkan Perubahan Bentuk dan Luas Delta Sungai Jeneberang Tahun 1989-2006

### **Perkembangan Delta Jeneberang Tahun 1989-1999**

Perkembangan delta Sungai Jeneberang tahun 1989-1999 cenderung mengalami akresi, dimana tahun 1989 panjang garis pantai delta 17.015,50 m, laju pertambahan panjang rata-rata sebesar 4.56 km/tahun. Disebelah utara terutama pada daerah spit dan Teluk Losari terjadi sedimentasi yang intensif, selain itu disamping adanya pembangunan jalan metro Tanjung Bunga dan pembangunan tanggul sehingga luasan delta bertambah dalam kurun waktu 1989-1999.

### **Perkembangan Delta Jeneberang Tahun 1999-2001**

Dalam kurun waktu tahun 2001 s/d tahun 1999, terjadi perubahan panjang garis pantai pada delta Sungai Jeneberang yang mengalami pengurangan panjang garis pantai sebesar 74.030 m. Berdasarkan hasil overlay citra tahun 2001 dan citra tahun 1999, delta Sungai Jeneberang dalam kurun waktu tersebut mengalami abrasi pada bagian spit, pada muara sungai bagian selatan karena normalisasi sungai menyebabkan pengerukan *sand bar* pada sisi-sisi sungai.

### **Perkembangan Delta Jeneberang Tahun 2001-2005**

Delta Sungai Jeneberang dalam kurun waktu lima yakni tahun 2001 s/d tahun 2005 mengalami pertambahan panjang garis pantai sebesar 12.059,45 m/tahun, namun mengalami luas delta berkurang sebesar 2,38 ha/tahun. Perubahan yang terjadi adalah pada bagian *spit* dan *sand bar* yang berada pada muara sungai yang dibendung. Abrasi disebabkan oleh kekuatan arus susur pantai yang memindahkan sedimen ke arah Teluk Losari ke bagian depan muara. Sand bar yang semula terbentuk, dirombak oleh tenaga marin tersebut

### **Perkembangan Delta Jeneberang Tahun 2005-2006**

Selama tahun 2005 s/d tahun 2006, delta Sungai Jeneberang mengalami perkembangan yang paling besar baik luasan delta maupun panjang garis pantainya. Dalam periode singkat yaitu hanya setahun (2005-2006), delta Sungai Jeneberang meningkat luasannya sebesar 28,56 ha/tahun. Hal ini selain karena adanya pembangunan yang intensif pada kawasan delta Sungai Jeneberang dimana pada daerah rawa payau di depan muara bagian utara ditimbun untuk pembangunan permukiman dan fasilitas wisata bahari, demikian juga pada daerah Teluk Losari penimbunan telah rampung untuk pembuatan jalan dan permukiman nelayan.

Selain adanya perubahan penggunaan lahan, perubahan luas dan panjang garis pantai pada delta karena runtuhnya caldera Gunung Bawakaraeng yang mengangkut sedimen sebanyak 200-250 juta m<sup>3</sup> (Haeruddin, 2008). Sejumlah sedimen tersebut kemudian masuk ke dalam waduk dan sebagian lagi terangkut ke bagian hilir melalui debit sungai yang tinggi kemudian akhirnya terendapkan pada muara sungai.

Ketidakteraturan bentuk dan garis pantai di hamparan Pantai Tanjung Merdeka dan Pantai Tanjung Bunga menyebabkan terjadinya perbedaan pola refraksi gelombang akibat perubahan arah angin sehingga posisi konvergensi dan divergensi tenaga gelombang di mintakat tepian akan berubah pula. Berdasarkan atas pola refraksi gelombang di daerah penelitian, maka daerah-daerah paling rawan erosi dapat diidentifikasi. Walaupun secara umum garis pantai akan mengalami kemunduran secara perlahan akan tetapi terjadi pula proses sedimentasi secara lokal sebagai akibat tertahannya arus susur pantai (*nearshore current*) secara parsial ke arah utara dan selatan. Pergerakan arus di depan delta yang sejajar dengan garis pantai menyebabkan potensi erosi sepanjang garis pantai khususnya pada bagian luar delta sehingga akan mendorong pergerakan delta ke arah utara.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan hasil penelitian dimana poin 1 akan menjawab pertanyaan penelitian pertama sedangkan poin 2 dari kesimpulan hasil penelitian ini akan menjawab pertanyaan penelitian kedua, sebagai berikut :

Pembentukan dan perkembangan Delta Sungai Jeneberang selama 17 tahun (1989-2006) mengalami fluktuasi panjang garis pantai dan luas delta, terjadi perubahan bentuk daratan delta yakni yang semula berbentuk *multi lobate* karena adanya dua muara sungai, kemudian berubah menjadi bentuk *lobate*. Delta mengalami perluasan rata-rata 8,84 ha/tahun, meskipun pada tahun 2001-2005 mengalami pengurangan luas sebesar 2,38 ha/tahun, panjang garis pantainya bertambah rata-rata 23,10 km/tahun walaupun pada tahun 1999-2001 garis pantai berkurang karena adanya abrasi sebesar 37,02 km/tahun. Pada pantai bagian utara terbentuk spit (bura), yang merupakan angkutan sedimen oleh kerja arus susur pantai, sedangkan sedimentasi yang efektif terjadi pada bagian depan muara sungai yang dibendung. Pengaruh fluvial berupa angkutan sedimen ke bagian muara serta pengaruh marin pada daerah delta Sungai Jeneberang memainkan peran yang sama dan saling bergantian, sehingga proses abrasi dan sedimentasi terjadi bergantian pada beberapa bagian delta utamanya pada sisi-sisi muara dan spit. Pengaruh musim juga sangat dominan dalam pembentukan delta Sungai Jeneberang, dimana pada saat musim barat debit sungai yang tinggi membawa sejumlah sedimen untuk diendapkan pada bagian muara. Tenaga gelombang konstruktif terhadap perkembangan delta, demikian pula kerja arus susur pantai yang memindahkan sedimen ke arah daratan, namun julat pasut yang kecil justru membuat daratan lebih banyak dan lebih cepat tererosi karena tenaga gelombang yang tersebar merata pada gisik yang terdiri dari material lepas. Suplai sedimen dari daerah hulu juga semakin berkurang sejak berfungsinya Waduk Bili-bili. Jika hal tersebut

berlangsung terus-menerus, terdapat kecenderungan dataran delta akan tererosi (mundur ke arah daratan) ataupun tidak terdapat perkembangan berarti pada dataran delta. Suplai sedimen yang semakin berkurang karena sebagian tertampung di waduk dan *sand pocket/sabo dam* serta bentuk DAS Jeneberang yang hanya memiliki dua cabang ke arah laut menyebabkan bentuk delta relatif tidak berubah yakni berbentuk *lobate*.

Secara umum, citra Landsat TM dan ETM+ dapat mengkaji perubahan geomorfologi yang terjadi pada delta yakni perubahan garis pantai, bentuk lahan pada daerah delta maupun penggunaan lahan, namun satuan-satuan bentuk lahan sebagian tidak dapat dideteksi dari citra karena terbatasnya resolusi spasial citra Landsat. Perubahan bentuk dan luas delta secara multi waktu dapat teramati dengan baik karena resolusi temporal citra Landsat yang sangat baik serta ketersediaan citra yang relatif mudah diperoleh. Prodelta atau *subaqueous delta* yaitu bagian delta yang berada di bawah permukaan air dapat terlihat pada citra Landsat pada kombinasi saluran 1, 2 dan 3 sedangkan untuk analisis kedalaman dan tebal lapisan perlu menggunakan pengukuran lapangan yang lebih intensif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Davis, R.A, Jr. 1996. *Oceanography : An Introduction to The Marine Environment*. WMC Brown Publisher. USA.
- Haeruddin, 2008. Pembangunan Sabo Dam untuk Pengendalian Sedimen di Bendungan Bili-bili. Artikel Harian Fajar 12 April 2008. Makassar.
- Hehanussa, P.E, S. Hadiwisastro dan S. Joehanah. 1975. Sedimentasi Delta Baru Cimanuk. Lembaga Geologi dan Pertambangan Nasional dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Disampaikan pada Pertemuan Ilmiah Tahunan IV. Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Bandung 8-10 Desember 1975.
- Hutabarat, S dan S.M. Evans. 1985. *Pengantar Oseanografi*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Sunarto, 2004. Disertasi : Perubahan Fenomena Geomorfik Daerah Kepesisiran di sekeliling Gunungapi Muria Jawa Tengah (*Kajian Palaeogeomorfologi*). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Whittin, A.J. 1987. *The Ecology of Sulawesi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.