

## Analisis Spasial Perubahan Bentuk Fisik Sungai Melalui Integrasi Citra Landsat Dan GIS Di Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu

Supriyono, Yanmesli

Prodi Pendidikan Geografi FKIP Universitas Prof Dr Hazairin SH

Email : [supriunihaz@gmail.com](mailto:supriunihaz@gmail.com)

Diterima 25 April 2016, Direvisi 20 Mei 2016, Disetujui Publikasi 30 Juni 2016

### Abstract

*This research aims to analyze the change of physical shape of river in Sub River Basin of Bengkulu River. Analysis of changes in physical shape of the river by interpretation of Landsat Image from 1990, 2003 and 2014. The physical changes of the river are divided into 3 river segments, namely Hulu, Tengah and Hilir, so that the appearance of spatial changes in more detail. Spatial database is built based on the results of image interpretation and image digitization with 543 band merging model, this is done to obtain data of difference of water and land boundary is more contrast and clear. The approach method used is the result of the analysis of the physical form data of the river in overlay with Geographic Information System to obtain the data of physical shape of the river that is the flow pattern, the area and the river meander. Result of research (1). The pattern of river flow is relatively fixed with the flow pattern of the river is dominated by dendritic flow pattern that is the river and the main tributary perpendicular to each other leads to the main rivers or directly empties into the sea, (2). The most dominant change in river area between 2003-2014 is seen from the addition of river area of 37.88 ha. (3). River Meander is influenced by Sediment factor carried by a tributary that empties into the main river of the river. The high sedimentation is due to high erosion and the human factor can be river flow engineering and land use change.*

*Keywords: Landscape Image, Stream Pattern, River Area, Meander*

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan bentuk fisik sungai di Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu. Analisis perubahan bentuk fisik sungai dengan interpretasi Citra Landsat dari tahun 1990, 2003 dan 2014. Perubahan bentuk fisik sungai dibagi dalam 3 segmen Sungai yaitu bagian Hulu, Tengah dan Hilir, sehingga kenampakan perubahan spasial lebih detail. Basis data spasial dibangun berdasarkan hasil interpretasi citra dan digitasi citra dengan model penggabungan band 543, ini dilakukan untuk memperoleh data perbedaan batas air dan daratan lebih kontras dan jelas. Metode pendekatan yang digunakan adalah hasil analisis basis data bentuk fisik sungai di overlay dengan Sistem Informasi Geografis untuk memperoleh data perubahan bentuk fisik sungai yaitu pola aliran, luas dan menader sungai. Hasil penelitian (1). Pola aliran sungai relatif tetap dengan pola aliran sungai didominasi oleh pola aliran dentritik yaitu sungai dan anak sungai utama saling tegak lurus bermuara pada sungai-sungai utama atau langsung bermuara ke laut, (2). Perubahan luas sungai yang paling dominan terjadi antara tahun 2003-2014 yang terlihat dari penambahan luasan sungai sebesar 37,88 ha. (3). Meander sungai di pengaruhi oleh faktor Sedimen yang dibawa oleh anak sungai yang bermuara ke sungai utama aliran sungai. Tingginya sedimentasi diakibatkan erosi yang cukup tinggi dan faktor manusia dapat berupa rekayasa alur sungai dan perubahan penggunaan tanah.

**Kata Kunci :** Citra Lansat, Pola Aliran, Luas Sungai, Meander

## A. Pendahuluan

Keberadaan daerah aliran sungai (DAS) sangat memegang peranan penting bagi kemaslahatan hidup orang banyak terutama bagi masyarakat yang ada di sekitarnya. Beberapa perusahaan besar yang mengelola tambang batubara di hulu Sungai Bengkulu, menyebabkan degradasi lingkungan disekitar hulu sungai yang merupakan daerah *catchment area*. Perusahaan tambang yang mengakibatkan erosi tanah di DAS Sungai Bengkulu yang mengakibatkan perubahan pola aliran di Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu. Perubahan pola aliran sehingga menyebabkan sedimentasi dan enader sungai.

Analisis perubahan bentuk fisik sungai dilakukan dengan interpretasi data DEM dengan fungsi Hidrologi pada ArcGIS 10.1 serta inerpretasi citra Landsat tahun 1990, 2003 dan 2014 dengan pengolahan citra di ERDAS IMAGE 9.3 kemudian dilakukan digitasi di ArcGIS 10.1. Proses digitasi dilakukan untuk membangun data spasial sehingga dapat dianalisis dan dihitung perubahannya.

## B. Landasan Teory

### Morfologi Fluvial

Morfologi fluvial berhubungan dengan sungai dan sistem aliran seperti yang dihasilkan oleh aksi air mengalir. Fitur yang dihasilkan pada permukaan tanah yang dilakukan oleh air yang mengalir dapat tepat disebut lanskap fluvial. Saat siklus erosi berlangsung morfologi sungai juga berubah dan aliran melalui tiga tahap pembangunan yaitu usia remaja, dewasa dan tua (Garde, 2006).

Pada akhirnya tahap remaja akan dimulai tahap aliran dewasa ketika tingkat penggerusan pada saluran bawah sungai sudah berkurang dan tingkat erosi atau penggerusan lateral mulai meningkat. Awal tahap aliran dewasa berakhir ketika lebar lembah sama dengan lebar sabuk yang ditutupi oleh *meander* sungai. Lembah berbentuk V namun tidak terlalu curam.

Pada tahap tua alur sungai berbentuk berkelok-kelok (*meandering*) sebagai akibat lebar dari dataran banjir melebihi beberapa kali lebar sabuk *meander*. *Oxbow lake* dan rawa biasanya hadir sebagai hasil dari *cut-off meander* yang terjadi secara alami. Pada tahap ini di sisi kanan dan kiri alur sungai akan terbentuk tanggul alami yang merupakan

bentukan paska kejadian banjir. Bentuk lembah sungai pada tahap sungai tua adalah U, karena pada tahap ini erosi pada bagian bawah sungai sudah sangat kesil terjadi, sedangkan pengendapan sedimentasi pada bagian bawah sungai akan meningkat.

### **Perubahan Alur Sungai**

Aliran air dan pasokan sedimen keduanya selalu berfluktuasi, yang artinya penyesuaian terus menerus terjadi melalui pengerjaan ulang, erosi dan pengendapan sedimen. Rezim aliran dan rezim sedimen disebut sebagai variabel penggerak dalam proses ini (Charlton, 2008)

#### 1). Rezim Aliran (*Flow Ragime*)

Aliran dalam saluran sungai alami tidak stabil, selalu berfluktuasi dalam menanggapi masukan/input dari curah hujan ke daerah aliran sungai.

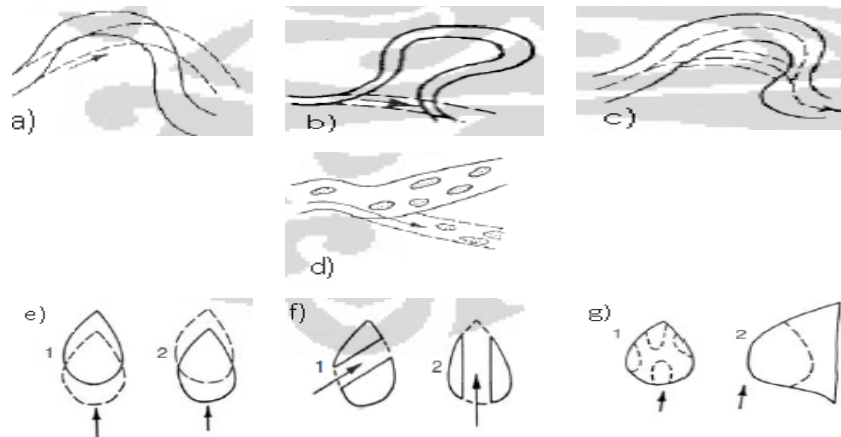
#### 2). Rezim Sedimen (*Sediment Ragime*)

Pasokan sedimen selalu bervariasi sepanjang waktu.

Rezim aliran dan rezim sedimen dapat dipengaruhi oleh aktor manusia dan alami. Pada faktor alami terutama pada alur sungai yang berada dimuara sungai dapat berasal dari darat dan dari laut. Dalam perubahan alur sungai, faktor manusia dapat berupa rekayasa alur sungai dan perubahan penggunaan tanah

pada DAS yang dapat berakibat pada meningkatnya jumlah sedimen yang diendapkan di daerah muara. Faktor manusia murni merupakan usaha manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya. Macam-macam perubahan alur sungai dapat dikelompokkan menjadi 4 tipe yaitu sebagai berikut : (schumm,2005)

- a. Pertumbuhan dan pergeseran meander dimana bentukan meander mengalami penambahan /pengurangan luas dan berpindah sebagai akibat dari erosi dan deposisi.
- b. Pertumbuhan dan pergeseran pulau, dimana bentukan pulau atau *beting* mengalami penambahan/pengurangan luas dan berpindah sebagai akibat dari erosi dan deposisi.
- c. *Cutoffs*, terpotongnya meander akibat erosi.
- d. *Avulsi* yang merupakan berpindahnya saluran sungai



**Gambar 1.** Macam-Macam Perubahan Alur Sungai

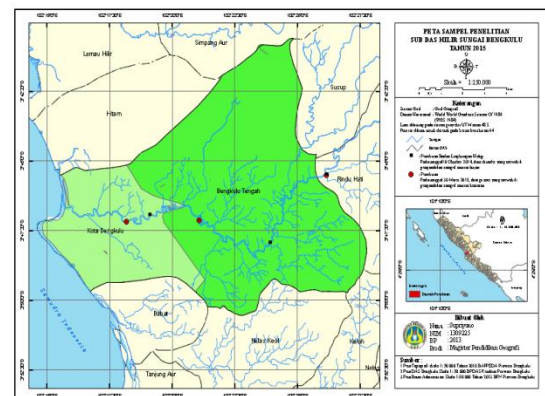
Keterangan : a). Pertumbuhan dan pergeseran menader b) dan c). *Cutoffs* d). *Avulsi* e) g). Pertumbuhan Pulau (schumm, 2005)

### C. Metode Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan menganalisis pola perubahan daerah aliran sungai, menader dan muara sungai di DAS Sungai bengkulu. Metode penelitian ini berbasis data spasial dengan menganalisis dan interpretasi citra *landsat*. Analisis dan inetrpretasi citra untuk melihat perubahan basis data keruangan dengan mengoverlay peta dari tahun 1990, 2003, dan 2014.

### Lokasi Penelitian

Dengan pertimbangan di atas serta jumlah dana yang tersedia maka ditentukan titik sampling sebanyak 3 (tiga) lokasi, lokasi sungai ditentukan dengan menggunakan “ *sample survey method* ” yaitu metode survey dengan membagi wilayah penelitian menjadi stasiun-stasiun yang diharapkan dapat mewakili populasi penelitian.

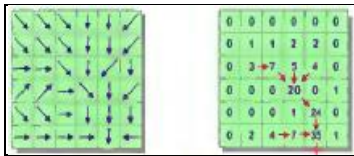


**Gambar 2.** Peta Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu

### Analisis Data

#### Pola Aliran Sungai

Adapun pola aliran sungai ditentukan dengan data DEM kemudian di interpretasikan dengan analisis hidrologi sehingga diperoleh arah akumulasi aliran air, ini sesuai dengan pernyataan Purwanto (2013: 2) bahwa jumlah analisis akumulasi air sangat identik dengan jaringan sungai yang ada di lapangan. Dalam proses analisisnya digunakan penentuan arah kelerengan dari posisi pada data tinggi grid.

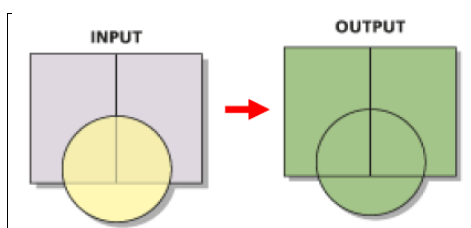


**Gambar 3.** Analisis Jaringan Sungai  
Sumber : Purwanto, 2015

### Perubahan Bentuk Fisik Sungai

Analisis yang digunakan dalam menentukan perubahan bentuk fisik sungai dalam data spasial adalah dengan mengoverlay peta pola alur sungai tahun 1990-2003 dan 2003-2014, sehingga diperoleh perubahan sungai. Overlay adalah analisis spasial yang menggabungkan 2 tematik masuknya (Prahasta, 2015:326).

Analisis yang digunakan untuk mengetahui perubahan bentuk fisik sungai Sub DAS hilir Sungai Bengkulu dengan overlay *union*. Overlay *union* adalah analisis akan mengkombinasikan unsur-unsur spasial yang menghasilkan *layer* baru yang berdomain spasial terluas.

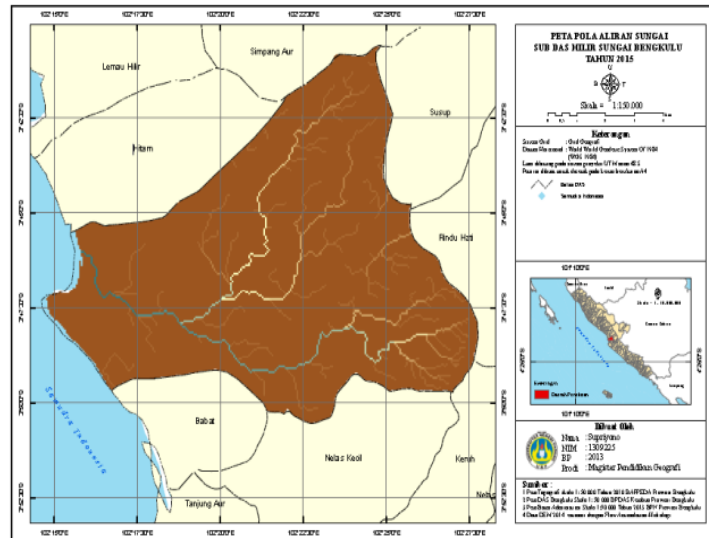


**Gambar 4.** Proses Overlay *Union*  
Sumber: Arif, 2011: 53

### D. Hasil Penelitian Dan Pembahasan Pola Perubahan Pola Aliran Sungai

Dari Interpretasi peta dapat diketahui bahwa Pola aliran Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu relatif tetap dengan pola aliran sungai didominasi oleh pola aliran dentritik yaitu sungai dan anak sungai utama saling tegak lurus bermuara pada sungai-sungai utama atau langsung bermuara ke laut. Bentuk rangkaian aliran sungainya mirip ranting pohon dimana anak sungai yang bentuknya tidak teratur atau melengkung akhirnya menyatu pada sungai utama dengan sudut yang tajam dan searah dengan alirannya. Pola aliran ini mencerminkan kondisi fisik daerahnya berupa material kedap air dan teksturnya relatif halus.

Berkembang pada daerah dengan variasi sudut lereng kecil, landai, dan ber relief rendah. Kemiringan lerengnya termasuk kategori datar (<8%) dan adanya campur tangan manusia seperti untuk kebutuhan irigasi/pengairan Dapat berkembang pada daerah dengan struktur lapisan horizontal, miring landai, atau terlipat lemah. Dapat pula berkembang di daerah berbatu metamorf, sedimen, beku asalkan daya tahan terhadap erosi seragam. Adapun pola aliran Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu disajikan dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Pola Aliran Sungai Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu

Berdasarkan data Badan Lingkungan Hidup Propinsi Bengkulu (2014), daerah aliran sungai Bengkulu dengan panjang sekitar 48 km dan luas daerah tangkapan air (*catchment area*) 500,65 km<sup>2</sup>. Aliran sungai utama pada DAS Bengkulu mengalir sepanjang tahun sehingga termasuk sistem aliran *effluent*. Hal ini dikarenakan, arah aliran air tanahnya mengarah ke sungai sehingga air tanah memasok aliran ke sungai yang muncul menjadi mata air maupun rembesan (Anonim, 2007).

Permasalahan dimulai sejak adanya perambahan hutan yang dilakukan beragam aktivitas dari perusahaan karet dan pabrik CPO kelapa sawit, sehingga semakin meningkatnya erosi, sedimentasi dan fluktuasi debit sungai. Kerusakan juga semakin diperparah oleh eksploitasi tambang batubara di segmen sungai bagian hulu dan penambangan rakyat

yang dilakukan di sepanjang bantaran sungai daerah aliran Sungai Bengkulu

### Analisa Luas Sungai

Dari hasil interpretasi citra landsat dengan *composit band* RGB 543 di ERDAS IMAGE 9.3, kemudian langkah selanjutnya dilakukan digitasi pada pola alur sungai utama Sub DAS hilir Sungai Bengkulu. Proses digitasi artinya membangun database spasial di ArcGIS 10.1 dalam bentuk *shapefile* (SHP) sehingga dapat dihitung perubahan luas sungai. Perubahan luasan sungai yang akan dilihat adalah sungai pada tahun 1990-2003 dan sungai pada tahun 2003-2014. Sehingga dengan data tersebut dapat terlihat perubahan luasan sungai.



**Tabel 1.** Perubahan Luas Sungai

No	Tahun	Luas sungai (ha)	Perubahan (ha)
1.	1990	210,59	-13,90
2.	2003	196,69	
3.	2014	234,57	37,88

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa perubahan luas sungai yang paling dominan terjadi antara tahun 2003-2014 yang terlihat dari penambahan luasan sungai sebesar 37,88 ha. Perubahan luas sungai tersebut terlihat pada luasan sungai pada tahun 2003 yaitu 196,69 ha menjadi bertambah luasan dengan perubahan sungai tahun 2014 menjadi 234,57 ha.

Sedangkan perubahan luas pada tahun 2003 adalah -13,90 ha. Artinya sungai pada periode 10 tahun terakhir dari tahun 2003 mengalami penyempitan. Penyempitan sungai tersebut terlihat pada sungai tahun 1990 dengan luas sungai 210,59 ha mengalami pengurangan atau penyempitan luasan sungai pada tahun 2003 yaitu mengalami penurunan 196,69 ha.

Dari hasil perhitungan luas sungai tersebut dapat disimpulkan bahwa sungai Sub DAS hilir Sungai Bengkulu sekarang tahun 2014 mengalami penambahan luasan sungai. Perubahan luasan sungai yang bertambah berarti sungai mengalami bertambah lebar. Perubahan tersebut dapat

disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah:

1). Sedimen

Sedimen yang dibawa oleh anak sungai yang bermuara ke sungai utama aliran sungai. Tingginya sedimentasi diakibatkan erosi yang cukup tinggi di daerah Sub DAS hilir Sungai Bengkulu dari aliran *run off* penambangan batubara di daerah hulu DAS Sungai Bengkulu. Tingginya erosi tersebut karena daerah hulu sungai DAS Sungai Bengkulu daerah *ceatmen area* mengalami degradasi lahan.

Degradasi lahan tersebut terutama dipicu oleh laju perluasan tambang batubara di daerah hulu yang tidak seimbang dengan wilayah konservasi bekas tambang. Sehingga curah hujan yang tinggi yang berada di daerah tersebut menyebabkan aliran *run off* langsung mengalirkan lapisan permukaan tanah atas (*top soil*) bekas tambang ke badan sungai tanpa mengalami infiltrasi/penyerapan oleh vegetasi penutup terlebih dahulu.

2). Pengembangan wilayah oleh masyarakat di sekitar daerah aliran sungai Sub DAS hilir Sungai Bengkulu. Pengembangan wilayah yang dilakukan adalah bertambahnya

jumlah pemukiman dan aktivitas di sungai.

- 3). Banyaknya penambangan atau pengumpul limbah batubara di sungai. Aktivitas masyarakat di sungai menyebabkan perubahan luas karna pengumpulan limbah batubara dilakukan dengan mesin penyedot.

Sehingga menyebabkan perubahan terhadap luasan sungai Sub DAS hilir Sungai Bengkulu.

#### **Analisa Menadaer**

Dari hasil digitasi citra lansat perubahan meander sungai adalah sebagai berikut tersaji pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Luas Erosi dan Deposisi Meander Sungai

No	Sungai	Erosi (ha)	Total Erosi (ha)	Deposisi (ha)	Total Deposisi (ha)
1	Bagian hulu	2,883		5,685	
2	Bagian tengah	0,306	60	3,692	74
3	Bagian hilir	3,410		8,716	

Dari data diatas proses total erosi yang terjadi di Sungai Bengkulu adalah 60 ha selama kurun waktu sepuluh tahun yang diimbangi dengan proses deposisi sekitar 74 ha. Proses deposisi yang terjadi di bagian hulu 5,685 ha dengan erosi yang dibentuk sekitar 2,883 ha. Sedangkan proses deposisi bagian tengah 3,69 ha dengan wilayah yang tererosi 0,306 ha. Kemudian sungai bagian hilir terjadi deposisi 8,716 ha dengan daerah yang tererosi 3,410 ha. Untuk melihat lebih detail perubahan meandering, maka akan dibuat pemetaan dengan skala peta 1:10.000 sehingga dapat diuraikan sebagai berikut:

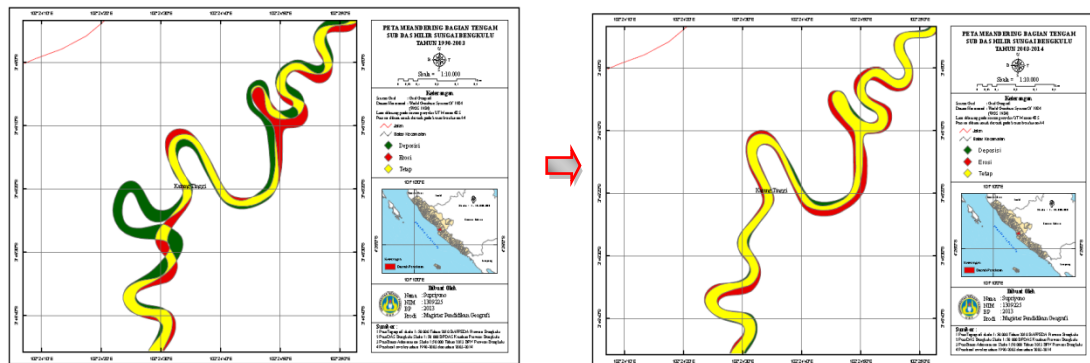
#### **a. Perubahan Meander Sungai Bagian Hulu**

Dari **Gambar 6** dibawah ini dapat diinterpretasikan bahwa terjadi perubahan yang sangat signifikan pada peta hasil overlay tahun 1990-2003 sedangkan dalam pembahasan ini perubahan yang dikaji ada perubahan hasil overlay tahun 1990-2003. Perubahan meandering yang mengalami proses erosi dan deposisi. Proses erosi sungai pada Bagian Hulu ini adalah memiliki sifat memotong meandering sungai sedang dengan hasil luasan erosi secara keseluruhan bagian hulu adalah 2,883 ha. Proses deposisi sungai dapat dilihat bahwa sungai Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu mengalami perubahan yang sangat signifikan. Dapat dilihat bahwa deposisi sungai yang pada

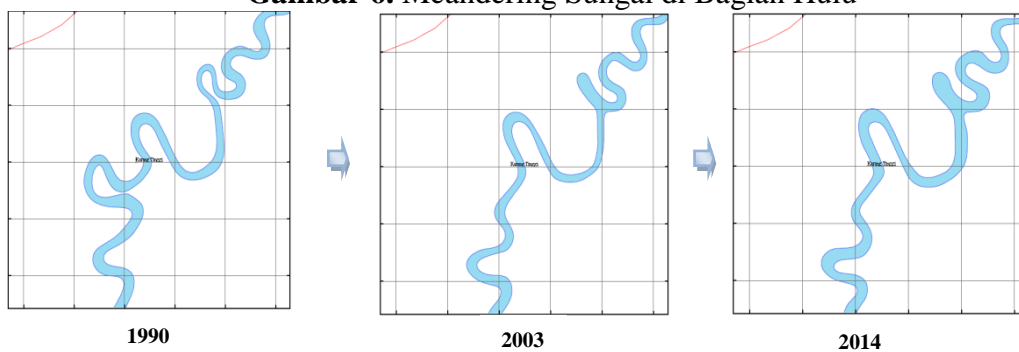


daerah perbatasan antara Kecamatan Karang Tinggi Kabupaten Bengkulu Tengah yaitu seluas 5,685 ha.

Untuk lebih jelasnya melihat perubahan pola meander sungai bagian hulu dari tahun 1990, 2003 dan 2014 adalah sebagai berikut



**Gambar 6.** Meandering Sungai di Bagian Hulu



**Gambar 7.** Pola Meandering Sungai di Bagian Hulu

Dari **Gambar 7** diatas pola aliran sungai di atas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan pada bentuk fisik sungai. Perubahan tersebut karena tingginya erosi dan pengendapan/deposisi. Perubahan besar itu terjadi antara tahun 1990-2003. Sedangkan perubahan yang terjadi pada tahun rentang waktu 2014 sungai hanya mengalami penambahan luasan.

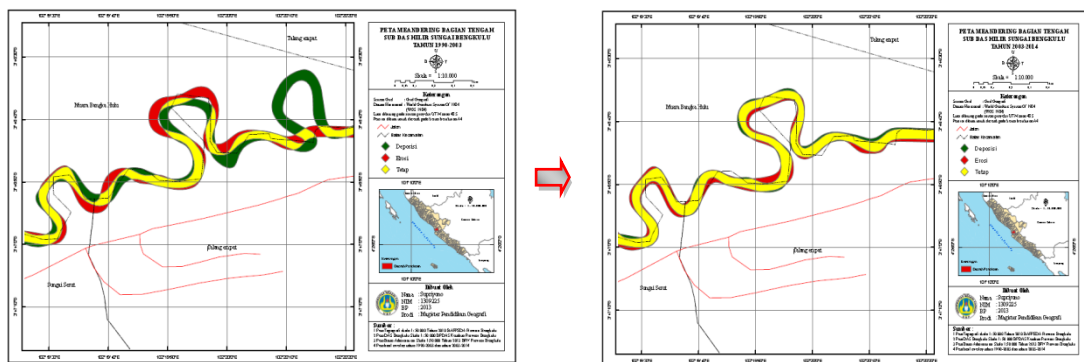
## **b. Perubahan Meander Sungai Bagian Tengah**

Dari gambar **Gambar 8** dapat diinterpretasikan bahwa terjadi perubahan yang sangat signifikan pada peta hasil overlay tahun 1990-2003 sedangkan dalam pembahasan ini perubahan yang dikaji ada perubahan hasil overlay tahun 1990-2003. Perubahan meandering yang mengalami proses erosi dan deposisi. Proses erosi sungai pada Bagian Tengah

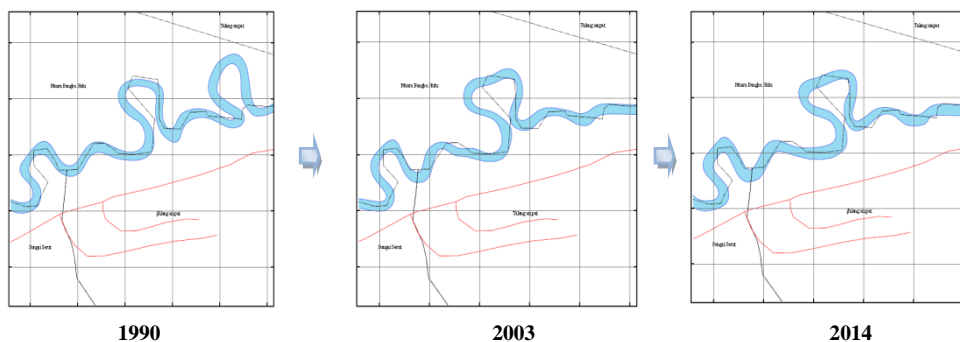
ini adalah memiliki sifat memotong meandering sungai sangat kecil dengan hasil luasan erosi secara keseluruhan bagian hilir adalah 0,306 ha. Proses deposisi sungai dapat dilihat bahwa sungai Sub DAS hilir Sungai Bengkulu mengalami perubahan yang sangat signifikan. Dapat dilihat bahwa deposisi sungai yang pada daerah perbatasan antara Kecamatan Muara Bangka Kota Bengkulu dengan Kecamatan Talang Empat Kabupaten Bengkulu Tengah yaitu seluas 3,692 ha.

Untuk lebih jelasnya melihat perubahan pola meander sungai bagian tengah dari tahun 1990, 2003 dan 2014 adalah sebagai berikut **Gambar 9**.

Dari gambar pola aliran sungai di atas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan pada bentuk fisik sungai. Perubahan tersebut karena tingginya erosi dan pengendapan/deposisi. Perubahan besar itu terjadi antara tahun 1990-2003. Sedangkan perubahan yang terjadi pada tahun rentang waktu 2014 sungai hanya mengalami penambahan luasan.



**Gambar 8.** Meandering Sungai di Bagian Tengah

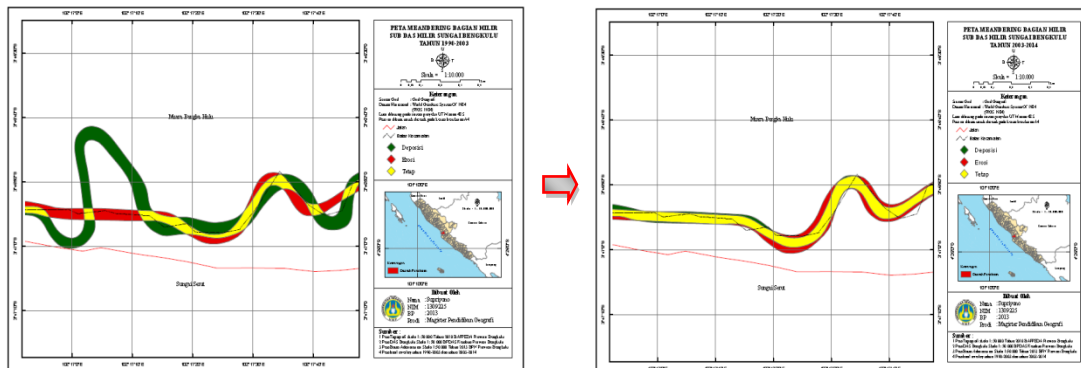


**Gambar 9.** Pola Meandering Sungai di Bagian Tengah

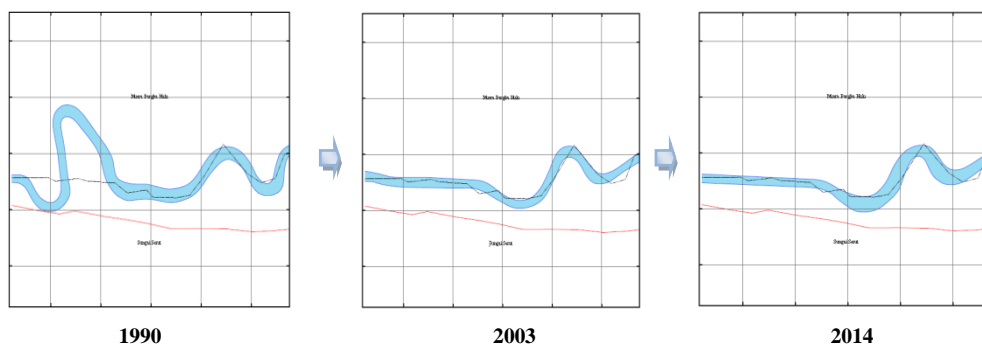
### c. Perubahan Meander Sungai Bagian Hilir

Dari **Gambar 10.** dibawah dapat diinterpretasikan bahwa terjadi perubahan yang sangat signifikan pada peta hasil overlay tahun 1990-2003 sedangkan dalam pembahasan ini perubahan yang dikaji ada perubahan hasil overlay tahun 1990-2003. Perubahan meandering yang mengalami proses erosi dan deposisi. Proses erosi sungai Pada Bagian hilir ini adalah memiliki sifat memotong meandering sungai dengan hasil luasan erosi secara keseluruhan bagian hilir adalah 3,410 ha.

Proses deposisi sungai dapat dilihat bahwa sungai Sub DAS Hilir Sungai Bengkulu mengalami perubahan yang sangat signifikan. Dapat dilihat bahwa deposisi sungai yang cukup luas berada di daerah Kecamatan Muara Bangka Hulu Kota Bengkulu seluas 4,883 ha , kemudian pada 2 daerah deposisi yang berada di Kecamatan Sungai Surut Kota Bengkulu dengan luas 1,668 ha dan 2,165 ha. Luas deposisi sungai bagian hilir tersebut adalah 5,685 ha dengan total luasan deposisi sungai yaitu 8,716 ha. Proses erosi dan deposisi tersebut menyebabkan terjadinya pola aliran sungai baru yaitu terlihat pada gambar overlay tahun 2003-2014.



**Gambar 10.** Meandering Sungai di Bagian Hilir



**Gambar 11.** Pola Meandering Sungai di Bagian Hilir

## E. Kesimpulan

Penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa Pola aliran sungai relatif tetap dengan pola aliran sungai didominasi oleh pola aliran dentritik yaitu sungai dan anak sungai utama saling tegak lurus bermuara pada sungai-sungai utama atau langsung bermuara ke laut

Perubahan luas sungai yang paling dominan terjadi antara tahun 2003-2014 yang terlihat dari penambahan luasan sungai sebesar 37,88 ha. Meander sungai di pegaruhi oleh faktor Sedimen yang dibawa oleh anak sungai yang bermuara ke sungai utama aliran sungai. Tingginya sedimentasi diakibatkan erosi yang cukup tinggi dan faktor manusia dapat berupa rekayasa alur sungai dan perubahan penggunaan tanah.

## Daftar Pustaka

- Anonim, 2011. *Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Benteng*.
- \_\_\_\_\_. 2011. *Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu*.
- [BLH] Badan Lingkungan Hidup Propinsi Bengkulu. 2008. *Laporan Akhir Pemantauan Kualitas Sungai Musi dan Sungai Bengkulu*. BLH: Bengkulu.
- [BLH] Badan Lingkungan Hidup Propinsi Bengkulu. 2014. *Laporan Akhir Pemantauan Kualitas Sungai Musi dan Sungai Bengkulu*.
- Charlton, R. 2008. *Fundamentals Of Aluvial Geomorphology*. Rountledge Taylor & Francis Group: USA.
- Garde, R. J. 2006. *River Morphology*. New Age International Publisher: New Delhi.
- Prahasta, Edi. 2015. *SIG Tutorial ArcGIS Untuk Bidang Geodesi dan Geomatika*. Informatika: Bandung.
- \_\_\_\_\_. 2015. *Ssitem Informasi Geografi Konsep-Konsep Dasar Geodesi dan Geomatika*. Informatika: Bandung.
- Schumm, S. A. 2005. *River variability and complexity*. Cambridge University Press; New York.
- Purwanto, Taufik Hari. 2012. "Ekstraksi Morfometri Daerah Aliran Sungai dari Data Digital Surface Model (Studi Kasus DAS Opak)". *Jurnal. Prodi D3 PJSIG. UGM*.