

## PENGOLAHAN CITRA SATELIT LANDSAT MULTI TEMPORAL DENGAN METODE *BILKO* DAN *AGSO* UNTUK MENGETAHUI DINAMIKA MORFOMETRI WADUK GAJAH MUNGKUR

(*Multitemporal Landsat Satellite Image Processing Using BILKO and AGSO Method to Find Out The Dynamics of Morphometry of Gajah Mungkur Reservoir*)

**Denni Aprilianto, Bandi Sasmito, Arwan Putra Wijaya<sup>\*)</sup>**

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp. (024) 76480785, 76480788  
e-mail : [geodesi@undip.ac.id](mailto:geodesi@undip.ac.id)

### ABSTRAK

Waduk Gajah Mungkur merupakan salah satu waduk buatan yang berlokasi kurang lebih 3 km arah selatan Kota Wonogiri tepat di bagian hilir pertemuan kali Keduang. Luas daerah genangan 13.600 ha (Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah DAS Solo Hulu, 1985). Seiring dengan perkembangan kondisi alam yang sangat dinamis, umur pakai waduk diperkirakan hanya tinggal 10-15 tahun lagi. Hal ini disebabkan oleh laju sedimentasi yang sangat tinggi terutama dari 6 Sub Daerah Aliran Sungai yang menyebabkan semakin kecilnya daya tampung air. Kondisi penurunan fungsi waduk yang terjadi akibat sedimentasi dan erosi menyebabkan berbagai macam dampak bagi ekosistem sekitar, khususnya untuk pendayagunaan waduk itu sendiri. Untuk itu perlu dilakukannya pemantauan dari tahun ke tahun. Salah satu upaya pemantauan yang dapat dilakukan adalah dengan teknologi penginderaan jauh.

Pada penelitian ini digunakan metode pengolahan citra satelit Landsat dengan menggunakan metode *BILKO* yang dikembangkan oleh *UNICEF* dan metode pemetaan perairan dangkal dari citra (*shallow water image mapping*) yang dikembangkan oleh *Australian Geological Survey Organization (AGSO)* yang pernah digunakan oleh Hanifa *et.al*, 2004, untuk penentuan batas maritim negara yang difokuskan pada penentuan garis pangkal sebagai acuan penarikan garis batas maritim antara Indonesia dan Singapura. Sedangkan untuk penelitian ini kedua metode digunakan untuk menentukan batas antara darat dan air untuk perairan darat, dalam hal ini perairan waduk yang terfokus pada batas antara darat dan air untuk waduk Gajah Mungkur wonogiri dengan tujuan untuk mengkaji dinamika morfometri Waduk Gajah Mungkur Provinsi Jawa Tengah dalam periode  $\pm 5$  tahun dimulai dari tahun 1994 sampai dengan awal tahun 2014.

Dari uji validasi lapangan hasil pengolahan rumus *BILKO* dan *AGSO* menggunakan metode *confusion matrix*, didapat akurasi sebesar 85,71 % untuk hasil metode *BILKO* dan 82,86 % untuk hasil metode *AGSO*, yang berarti kedua metode bisa digunakan untuk penentuan batas perairan waduk.

Hasil pengolahan citra Landsat dengan menggunakan metode *BILKO* pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada periode tahun 1994 – 2000 waduk Gajah Mungkur mengalami sedikit perluasan yaitu sebesar 1.544.400 m<sup>2</sup>. Sedangkan pada periode 2000 – 2009 waduk Gajah Mungkur mengalami penyempitan yang sangat signifikan dengan total perubahan luas sebesar 14.958.900 m<sup>2</sup>, dimana arah perubahan waduk Gajah Mungkur terjadi pada arah timur dan selatan waduk, pada bagian timur terjadi pada daerah sub DAS Keduang dan sub DAS Wiroko, dan pada bagian selatan terjadi pada daerah sub DAS Alang dan Solo Hulu. Kemudian untuk periode tahun 2009 – 2014 waduk kembali mengalami perluasan sebesar 1.602.000 m<sup>2</sup>.

**Kata Kunci : Waduk Gajah Mungkur, Morfometri, metode *BILKO*, metode *AGSO***

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

**ABSTRACT**

*Gajah Mungkur reservoir is one of the artificial reservoir located approximately 3 km south of the Wonogiri town on the lower reaches of the river Keduang. The area of inundation is 13,600 ha (Field Engineering Plan for Land Rehabilitation and Soil Conservation of Solo Hulu Watershed, 1985). Along with the high dynamic of natural conditions's development, lifespan reservoirs probably only 10-15 years away. This is due to the very high rate of sedimentation, especially from 6 sub Watershed which causes water capacity has narrowed. Reservoir function decline that occurs as a result of sedimentation and erosion make any kind of impact to the surrounding ecosystem, especially for the utilization of the reservoir itself. So that should be monitoring from year to year. One of the monitoring efforts that can be done is by remote sensing technology.*

*In this study used Landsat satellite image processing methods using BILKO which developed by UNICEF and shallow water mapping methods using imagery which developed by the Australian Geological Survey Organization (AGSO) that have been used previously by Hanifa et.al, 2004, for the determination of the maritime's boundary of countries focused on the determination of the base line as a withdrawal's reference of maritime's boundary between Indonesia and Singapore. While for this study, two methods are used to determine the boundary between land and water for inland waters, in this case which focused on the boundary between land and water in the Gajah Mungkur reservoir wonogiri with the aim to assess the dynamics of morphometry of Gajah Mungkur reservoir Central Java Province within  $\pm 5$  year period starting from 1994 to early 2014.*

*From the field validation test for the results of two processing formula, BILKO and AGSO, using confusion matrix method, obtained an accuracy is 85.71% for the results for BILKO method and 82.86% for the results of AGSO method, which means that both methods can be used for the determination of the maritime's boundary of reservoirs.*

*In this study, Landsat image processing results using the BILKO method show that in the period of 1994 - 2000 Gajah Mungkur reservoir having a little expansion in the amount of 1.544.400 m<sup>2</sup>. While in the period of 2000 - 2009 Gajah Mungkur reservoirs suffered significant narrowing with total area of 14.958.900 m<sup>2</sup> changes, which the direction changing of Gajah Mungkur reservoir occurs in the eastern and southern reservoirs, occur in the eastern part of the Keduang sub-watershed and Wiroko sub-watershed, and occurs in the southern part of the Alang and Solo Hulu sub-watershed. Then, for the period of 2009 - 2014 the reservoir expanded again by 1.602.000 m<sup>2</sup>.*

**Keywords :** *Gajah Mungkur Reservoir, Morphometry, BILKO method, AGSO method*

**1. Pendahuluan**

Menurut penelitian Pramono *et al.*, (2001), sedimentasi di Daerah Tangkapan Waduk Gajah Mungkur mulai turun sejak tahun 1991 dari 29 ton/ha/tahun menjadi 8 ton/ha/tahun. Hal ini diakibatkan oleh adanya kegiatan rehabilitasi lahan yang telah dimulai sejak tahun 1989 dan rendahnya curah hujan tahun 1997. Tingkat sedimentasi mulai naik lagi pada tahun 1998, dari 8 ton/ha/tahun pada tahun 1997 menjadi 33 ton/ha/tahun pada tahun 1998. Adanya El-Nino tahun 1997 yang menyebabkan kekeringan dan adanya La-Nina pada tahun 1998 yang menyebabkan curah hujan yang terjadi berada di atas rata-rata (normal), sehingga besar erosivitas hujan juga meningkat. Tingkat sedimentasi sejak tahun 1998 sampai tahun 2000 sudah melebihi tingkat sedimentasi tahun 1991 sehingga dikhawatirkan umur waduk akan lebih pendek lagi. (Dini Daruati, 2011)

Kondisi penurunan fungsi waduk yang terjadi akibat sedimentasi dan erosi akan menyebabkan berbagai macam dampak bagi ekosistem sekitar, khususnya untuk pendayagunaan waduk itu sendiri. Untuk itu perlu dilakukannya pemantauan dari tahun ke tahun. Salah satu upaya pemantauan yang dapat dilakukan adalah dengan teknologi penginderaan jauh. Teknologi penginderaan jauh mempunyai kemampuan untuk mendeteksi

perubahan yang terjadi di permukaan bumi secara berkala melalui citra satelit dengan biaya yang lebih kecil dibandingkan dengan pengambilan data secara langsung di lapangan. Metode yang ingin digunakan penulis dalam penelitian ini adalah metode *BILKO* dan *AGSO* yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi batas antara darat dan laut.

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

- 1) Bagaimana hasil pengolahan citra satelit dengan rumus *BILKO* dan *AGSO* dalam penentuan dinamika morfometri Waduk Gajah Mungkur dari tahun 1994 sampai dengan awal tahun 2014?
- 2) Bagaimana pola perubahan morfometri Waduk Gajah Mungkur dalam kurun waktu tersebut?

Dalam penulisan tugas akhir ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut :

- 1) Dinamika morfometri waduk yang dilakukan pada penelitian ini dibatasi oleh kurun waktu perekaman citra satelit pada tahun 1994 sampai dengan tahun awal tahun 2014, dan data perekaman citra yang digunakan adalah pada saat musim kemarau (bulan April – September). Dinamika morfometri yang terjadi di luar batas waktu tersebut tidak dikaji dalam penelitian ini.
- 2) Dinamika perubahan morfometri yang dikaji pada penelitian ini dibatasi pada area yang berupa perairan waduk.
- 3) Pada proses pengolahan citra satelit rumus yang digunakan hanya rumus *BILKO* dan *AGSO* (bila diperlukan ada modifikasi rumus menyesuaikan citra yang dipakai).
- 4) Citra satelit yang digunakan pada penelitian ini adalah citra Landsat 5 *TM*, citra Landsat 7 *ETM+* dan citra Landsat 8 *OLI*.

Adapun maksud dan tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah :

- 1) Mengkaji dinamika morfometri Waduk Gajah Mungkur Provinsi Jawa Tengah dalam periode  $\pm 5$  tahun dimulai dari tahun 1994 sampai dengan awal tahun 2014.
- 2) Mengkaji dinamika morfometri Waduk Gajah Mungkur Provinsi Jawa Tengah dengan menerapkan metode *BILKO* dan *AGSO* yang telah diuji pada penelitian sebelumnya pada pendeteksian perubahan garis pantai.

## 2. Metode Penelitian

### Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sebagai berikut :

- 1) Citra Landsat 5 *TM* wilayah Waduk Gajah Mungkur (WRS 2, path 119, row 66) perekaman tahun 1994
- 2) Citra Landsat 7 *ETM+* wilayah Waduk Gajah Mungkur (WRS 2, path 119, row 66) perekaman tahun 2000, 2004 dan 2009
- 3) Citra Landsat 8 *OLI* wilayah Waduk Gajah Mungkur (WRS 2, path 119, row 66) perekaman tahun 2014
- 4) Tinggi Muka Air Waduk Gajah Mungkur pada tanggal perekaman citra satelit Landsat
- 5) Peta Dasar Rupabumi Skala 1 : 25.000 tahun 1994

### Peralatan Penelitian

Perangkat penelitian yang digunakan dalam penelitian antara lain :

- a. Perangkat Keras (*hardware*) yang terdiri dari :
  - 1) *Laptop Asus Intel® Core™ i3 CPU M 370 @2.40Ghz (4 CPUs) RAM 2,00 GB, Hardisk 320 GB.*
  - 2) Kamera Digital
  - 3) *GPS Handheld*

- b. Perangkat Lunak (*software*) yang terdiri dari :
- 1) *ER Mapper 7.0*, digunakan untuk melakukan proses penggabungan band, koreksi radiometrik dan geometrik, memasukkan rumus *BILKO* dan *AGSO*, konversi data *raster* ke data vektor (.erv) dan konversi data vektor ke data *shapefile* (.shp).
  - 2) *ENVI 5 sp 3* digunakan untuk melakukan Gapfill citra SLC-off, koreksi radiometrik, dan proses penggabungan band citra hasil *download*.
  - 3) *ArcGIS 10.1*, digunakan untuk melakukan proses konversi data raster ke data *shapefile* vektor, editing data *shapefile* vektor, serta proses editing data hasil pengolahan.
  - 4) *Microsoft Word* digunakan untuk penyusunan laporan penelitian.
  - 5) *Microsoft Excel* digunakan untuk perhitungan analisis luasan waduk hasil pengolahan yang mengalami dinamika morfometri.

**3. Tahapan Pelaksanaan**

Tahapan pelaksanaan pada penelitian ini memiliki 3 (tiga) tahapan penting, antara lain :

**Persiapan citra**

Pada tahap ini dilakukan proses koreksi Radiometrik dan Geometrik. Proses koreksi radiometrik dilakukan dengan 2 tahap, pertama dilakukan tahap *GapFill* citra *SLC-off* dengan menggunakan *tools* yang telah tersedia pada *software ENVI*. Kemudian dilakukan proses konversi nilai *DN* ke nilai *TOA Radiance*. Rumus yang digunakan pada konversi ini yaitu :

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

- $L_{\lambda}$  = *TOA spectral radiance* (Watts/( m<sup>2</sup> \* srad \* μm))
- $M_L$  = *Band-specific multiplicative rescaling factor*
- $A_L$  = *Band-specific additive rescaling factor*
- $Q_{cal}$  = *Digital Number*

Proses koreksi Geometrik mempunyai tiga tujuan, yaitu:

1. Melakukan rektifikasi (pembetulan) atau restorasi (pemulihan) citra agar koordinat citra sesuai dengan koordinat geografis.
2. Meregistrasi (mencocokkan) posisi citra dengan citra lain yang sudah terkoreksi (*image to image rectification*) atau mentransformasikan system koordinat citra multispectral dan multi temporal.
3. Meregistrasi citra ke peta atau transformasi system koordinat citra ke koordinat peta (*image to map rectification*), sehingga menghasilkan citra dengan system proyeksi tertentu.

Dalam penelitian ini, proses koreksi geometrik dilakukan dengan *tool geocoding wizard* pada *software ER Mapper*.

**Pengaplikasian Rumus *BILKO* dan *AGSO***

Pada tahap ini dilakukan pengalokasian kedua rumus, agar dapat dibedakan antara daratan dan perairan waduk Gajah Mungkur. Rumus yang digunakan yaitu :

***BILKO***

*Band* yang digunakan dalam rumus ini *band 4* atau *5 (Landsat 7)*, dikarenakan kedua band ini merupakan band infra merah. Gelombang infra merah sendiri memiliki reflektansi yang rendah terhadap air dan reflektansi yang tinggi terhadap daratan. Dimana rumus ini

menggunakan teknik *nearest integer* dengan format 8 bit. Berdasarkan modul 7 *BILKO Lesson 4* (Hanifa et al, 2004), rumus tersebut diuraikan sebagai berikut :

$$\left( \frac{\text{INPUT1}}{(N*2)+1} * (-1) + 1 \right) \dots\dots\dots (2)$$

N = nilai minimum *BV* daratan citra *Landsat* INPUT1 = *Band 4* atau 5

**AGSO**

Metode ini pada dasarnya merupakan metode pemetaan perairan dangkal dari citra (*shallow water image mapping*) yang dikembangkan oleh *Australian Geological Survey Organization (AGSO)*. Formula *AGSO* merupakan rumusan matematis yang digunakan dalam menjelaskan hubungan antara sinyal gelombang elektromagnetik, medium propagasi, partikel air, serta efek kedalaman suatu perairan. Rumus yang digunakan adalah (Hanifa et al, 2004) :

$$\text{If INPUT4} < N \text{ and INPUT1} > 0 \text{ then } (\log(\text{INPUT1}-m1)/K1) + (\log(\text{INPUT2}-m2)/K2) + (\log(\text{INPUT3}-m3)/K3) \text{ else null} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- INPUT4 = Band 4 (*Landsat 7*)
- INPUT1 = Band 1 (*Landsat 7*)
- INPUT2 = Band 2 (*Landsat 7*)
- INPUT3 = Band 3 (*Landsat 7*)
- K1, K2, K3 = koefisien pengurangan cahaya pada band 1,2,3
- N = Nilai *BV* darat terendah untuk band 5
- m1 = Nilai *BV* darat terendah untuk band 1
- m2 = Nilai *BV* darat terendah untuk band 2
- m3 = Nilai *BV* darat terendah untuk band 3

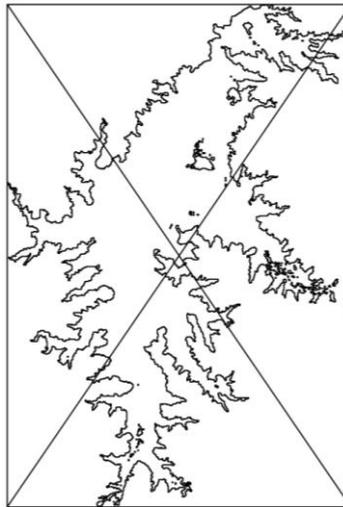
**Analisa Perubahan Morfometri**

Analisis perubahan morfometri waduk Gajah Mungkur dilakukan dengan membandingkan peta – peta morfometri waduk hasil pengolahan Masing – masing peta diberi warna yang berbeda sehingga bisa tampak perbedaan luasan daerah perairan waduk dalam tempo ± 5 tahun. Selain itu dilakukan pula analisis arah perubahan morfometri waduk Gajah Mungkur dalam rentang ± 5 tahun dari tahun 1994 hingga 2014 dengan menggunakan analisis pergerakan perubahan waduk berdasarkan 8 arah mata angin. Dimana waduk dibagi menjadi 8 zona, yaitu Utara (337,5°-22,5°), Timur Laut (22,5°-67,5°), Timur (67,5°-112,5°), Tenggara (112,5°-157,5°), Selatan (157,5°-202,5°), Barat Daya (202,5°-247,5°), Barat (247,5°-292,5°), dan Barat Laut (292,5°-337,5°).

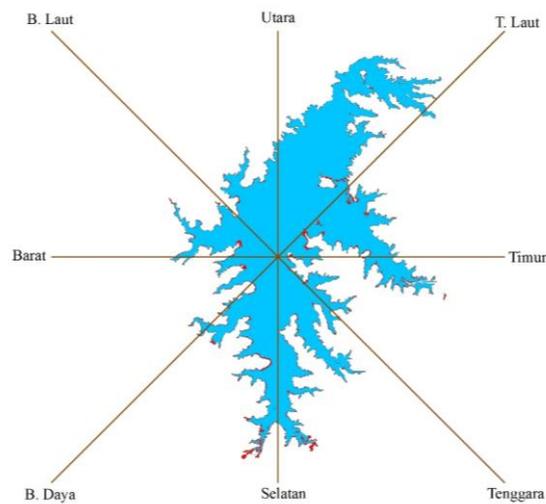
Penentuan titik tengah mata angin untuk analisis perubahan bentuk waduk Gajah Mungkur dilakukan dengan cara menentukan titik tengah persegi panjang yang terbentuk dari koordinat maksimum dan minimum sumbu X dan sumbu Y area waduk, area waduk yang digunakan adalah waduk tahun 1994 hasil pengolahan metode *BILKO*). Koordinat minimum dan maksimum sumbu X dan sumbu Y waduk serta koordinat titik tengah waduk sebagai berikut :

**Tabel 1.** Koordinat penentuan titik pusat waduk

Koordinat Waduk	Maksimum	Minimum	Titik tengah
X	496305	483105	489705
Y	9134005	9114685	9124345



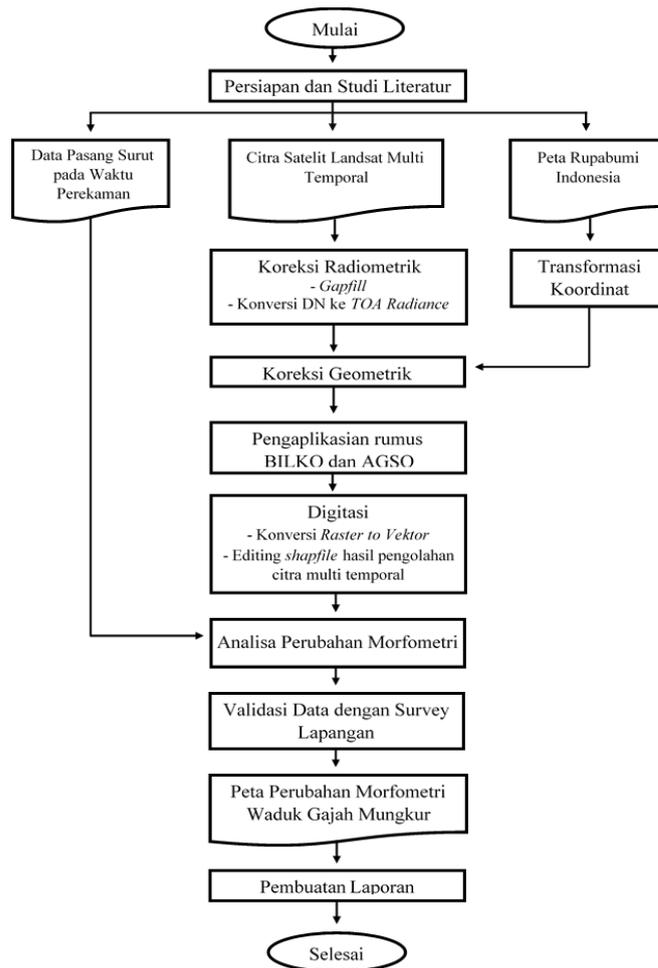
**Gambar 1.** Penentuan Titik Pusat Mata Angin



**Gambar 2.** Contoh Analisis Perubahan Bentuk Waduk Gajah Mungkur menurut 8 Arah Mata Angin

Setelah mengetahui bagaimana dinamika morfometri waduk selanjutnya dilakukan validasi terhadap hasil dari masing – masing rumus untuk mengetahui seberapa baik kedua rumus dapat digunakan untuk memamantau perubahan luas waduk Gajah Mungkur setiap periode  $\pm 5$  tahun.

Tahapan pelaksanaan yang dilakukan pada penelitian ini tersaji dalam diagram alir di bawah ini.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

**Perubahan Luas Waduk Tahun 1994 – 2014 hasil pengolahan dengan rumus BILKO**

Luas keseluruhan dari waduk Gajah Mungkur dari tahun 1994 hingga 2014 serta perubahan luas setiap periode ± 5 tahun tersaji pada tabel berikut :

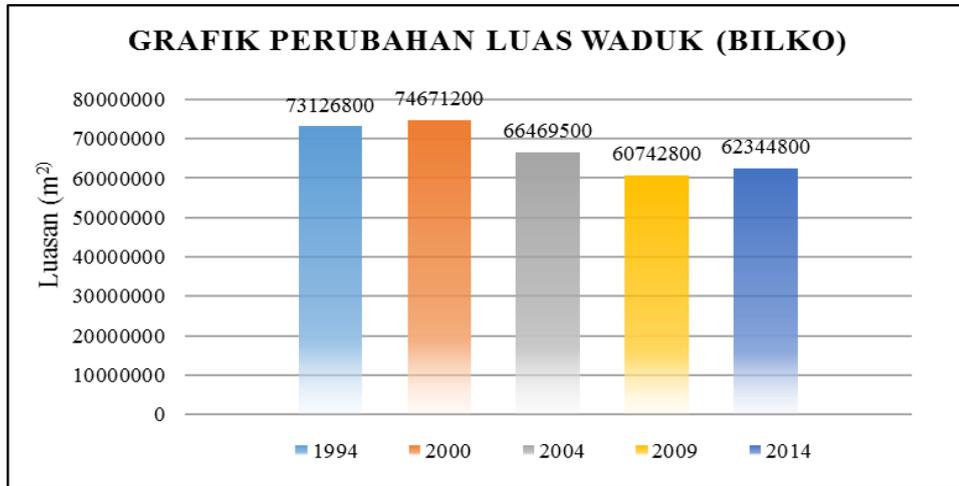
Tabel 2. Luas Waduk Gajah Mungkur Tahun 1994 sampai 2014 hasil pengolahan dengan rumus BILKO

Tahun Perekaman	Luas Waduk (m <sup>2</sup> )	Interval Tahun	Perubahan Luas (m <sup>2</sup> )
1994	73.126.800	1994-2000	1.544.400 (+)
2000	74.671.200		
2000	74.671.200	2000-2004	8.201.700 (-)
2004	66.469.500		
2004	66.469.500	2004-2009	5.726.700 (-)
2009	60.742.800		
2009	60.742.800	2009-2014	1.602.000 (+)
2014	62.344.800		

Keterangan :

( + ) : Waduk mengalami pelebaran

( - ) : Waduk mengalami penyempitan



Gambar 4. Grafik Perubahan Luas Waduk Gajah Mungkur Tahun 1994, 2000, 2004, 2009 dan 2014

Pada tabel 2 dan grafik 4 menunjukkan perubahan luas waduk Gajah Mungkur hasil pengolahan citra Landsat dengan mengaplikasikan rumus *BILKO* pada pengolahannya. Dari tabel dan grafik tersebut dapat dilihat pada tahun 1994-2000 waduk mengalami perluasan, kemudian pada tahun 2000-2009 luas waduk mengalami penyempitan yang sangat signifikan. Kemudian pada periode 2009 hingga 2014 luas waduk kembali bertambah.

**Perubahan Bentuk Waduk Tahun 1994 – 2014 hasil rumus *BILKO***

Perubahan bentuk waduk dan arah perubahan per periode ± 5 tahun hasil pengolahan dengan rumus *BILKO* ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 3. Perubahan Arah Pergerakan Waduk Tahun 1994 – 2014

No	Periode	Arah	Perubahan Luas (m <sup>2</sup> )	
			Penambahan	Pengurangan
1	1994 - 2000	Utara	283716.94	180000.00
		Timur Laut	381761.58	93574.12
		Timur	248420.21	608425.88
		Tenggara	116317.45	7200.00
		Selatan	846734.75	179100.00
		Barat Daya	346806.07	22365.86
		Barat	309742.99	19034.14
		Barat Laut	134100.00	13500.00
2	2000 - 2004	Utara	60300.00	715410.78
		Timur Laut	15300.00	1274252.67
		Timur	133668.73	1378594.69
		Tenggara	431.27	291445.76
		Selatan	75600.00	2676515.79
		Barat Daya	2700.00	950259.32
		Barat	8100.00	860807.04
		Barat Laut	900.00	351413.99

No	Periode	Arah	Perubahan Luas (m <sup>2</sup> )	
			Penambahan	Pengurangan
3	2004 - 2009	Utara	139707.85	334505.71
		Timur Laut	120392.15	1049335.57
		Timur	260100.00	1013267.11
		Tenggara	5985.68	166121.54
		Selatan	38114.32	2350102.29
		Barat Daya	18000.00	664697.67
		Barat	36000.00	556978.42
		Barat Laut	13500.00	223491.74
4	2009 - 2014	Utara	280293.79	324470.92
		Timur Laut	534645.03	375566.97
		Timur	318893.93	391662.12
		Tenggara	120586.88	60424.77
		Selatan	1093610.62	230297.18
		Barat Daya	311158.11	37778.05
		Barat	326599.52	34200.00
		Barat Laut	95812.12	25200.00

Perubahan bentuk waduk yang sebagian besar terjadi pada arah timur, timur laut dan selatan, dengan jarak perubahan yang terbesar terjadi pada periode tahun 2000 – 2004 dengan besar pengurangan luas waduk sebesar 2676515,79 m<sup>2</sup> pada arah selatan. Menurut hasil pengolahan citra Landsat menggunakan rumus *BILKO* terlihat bahwa daerah tangkapan air sub DAS yang mengalami perubahan cukup besar adalah daerah sub DAS Alang dan Solo Hulu yang berada di selatan waduk, serta sub DAS Wiroko dan sub DAS Keduang yang berada di timur waduk.

**Perubahan Luas Waduk Tahun 1994 – 2014 hasil pengolahan dengan rumus AGSO**

Luas keseluruhan dari waduk Gajah Mungkur dari tahun 1994 hingga 2014 serta perubahan luas setiap periode ± 5 tahun tersaji pada tabel berikut :

**Tabel 4.** Luas Waduk Gajah Mungkur Tahun 1994 – 2014 hasil pengolahan dengan rumus *AGSO*

Tahun Perekaman	Luas Waduk (m2)	Periode Tahun	Perubahan Luas (m2)
1994	73.116.900	1994-2000	2.968.200 ( + )
2000	76.085.100		
2000	76.085.100	2000-2004	8.579.700 ( - )
2004	67.505.400		
2004	67.505.400	2004-2009	6.379.200 ( - )
2009	61.126.200		
2009	61.126.200	2009-2014	271.800 ( + )
2014	61.398.000		

Keterangan :

- ( + ) : Waduk mengalami pelebaran
- ( - ) : Waduk mengalami penyempitan



**Gambar 5.** Grafik Perubahan Luas Waduk Gajah Mungkur Tahun 1994, 2000, 2004, 2009 dan 2014

Hasil pengolahan citra dengan rumus *AGSO* menunjukkan skema perubahan waduk yang sama dengan hasil pengolahan rumus *BILKO*, hanya saja besar perubahan luasnya berbeda. Perubahan luas waduk dari tahun 1994 hingga tahun 2000 waduk mengalami perluasan, kemudian dari tahun 2000 hingga 2009 luas waduk mengalami penyempitan yang signifikan, kemudian pada periode 2009 hingga 2014 luas waduk kembali bertambah.

**Perubahan Bentuk Waduk Tahun 1994 – 2014 hasil Rumus *AGSO***

Perubahan bentuk waduk dan arah perubahan per periode ± 5 tahun hasil pengolahan dengan rumus *AGSO* ditampilkan sebagai berikut.

**Tabel 5.** Perubahan Arah Pergerakan Waduk Tahun 1994 – 2014

No	Periode	Arah	Perubahan Luas (m <sup>2</sup> )	
			Penambahan	Pengurangan
1	1994 - 2000	Utara	396221.45	104400.00
		Timur Laut	548208.74	43200.00
		Timur	387809.68	457200.00
		Tenggara	147384.80	5400.00
		Selatan	1135791.49	103500.00
		Barat Daya	448510.45	7843.21
		Barat	431231.03	7456.79
		Barat Laut	209242.64	7200.00
2	2000 - 2004	Utara	0.00	775141.94
		Timur Laut	12600.00	1429925.56
		Timur	119700.00	1380363.04
		Tenggara	57600.00	324193.05
		Selatan	3600.00	2744761.32
		Barat Daya	5400.00	982786.33
		Barat	4500.00	831872.44
		Barat Laut	48600.00	362656.63
3	2004 - 2009	Utara	129842.97	369315.11
		Timur Laut	136557.03	1042948.83
		Timur	142200.00	1082045.40
		Tenggara	5985.68	173911.42
No	Periode	Arah	Perubahan Luas (m <sup>2</sup> )	

			Penambahan	Penambahan
3	2004 - 2009	Selatan	35414.32	2570012.40
		Barat Daya	10800.00	709595.57
		Barat	30600.00	669580.52
		Barat Laut	9900.00	264890.79
4	2009 - 2014	Utara	190294.73	456078.77
		Timur Laut	373545.03	499517.41
		Timur	249593.93	338603.82
		Tenggara	74451.36	82023.69
		Selatan	841040.67	343698.26
		Barat Daya	207463.10	80978.05
		Barat	238500.00	76500.00
		Barat Laut	50811.18	74700.00

Perubahan bentuk waduk yang sebagian besar terjadi pada arah timur, timur laut dan selatan, sebagian besar perubahan bentuk waduk terjadi pada daerah tangkapan sub – sub DAS yang mengalir menuju waduk Gajah Mungkur. menurut hasil pengolahan citra Landsat menggunakan rumus *AGSO* yang telah dilakukan sebelumnya terlihat bahwa daerah tangkapan air sub DAS yang mengalami perubahan cukup besar adalah daerah sub DAS Alang dan Solo Hulu, sub DAS Wiroko dan sub DAS Keduang.

Dari masing – masing metode terdapat perbedaan hasil digitasi yang mengakibatkan perbedaan perhitungan luas seperti yang ditampilkan pada tabel berikut.

**Tabel 6.** Perbandingan Luas Hasil Pengolahan dengan rumus *BILKO* dan *AGSO*

Tahun	Luas (m <sup>2</sup> )		Selisih Luas	
	<i>BILKO</i>	<i>AGSO</i>	m <sup>2</sup>	piksel
1994	73126800	73116900	-9900	-11
2000	74671200	76085100	+1413900	+1571
2004	66469500	67505400	+1035900	+1151
2009	60742800	61126200	+383400	+426
2014	62344800	61398000	-946800	-1052

Keterangan :

( + ) : *AGSO* lebih besar daripada *BILKO*

( - ) : *BILKO* lebih besar daripada *AGSO*

Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa perbedaan hasil pengolahan antara kedua metode paling banyak yaitu 1571 piksel pada pengolahan citra tahun 2000. Jumlah ini hanya sekitar 0,06 % dari total luas waduk pada tahun tersebut.

### Validasi

Untuk validasi hasil penelitian dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan, tahapan – tahapan tersebut dimaksudkan guna menguatkan hasil pengolahan data penelitian agar lebih bisa dipercaya. Tahapan – tahapan validasi yang dilakukan antara lain :

#### Validasi Tinggi Muka Air Waduk

Pada tahap ini dilakukan analisa tinggi muka air pada waktu perekaman citra dari tahun 1994 hingga 2014. Metode yang digunakan adalah perhitungan standar deviasi tinggi muka air waduk pada waktu perekaman. Hasil perhitungan standar deviasi data tinggi muka air ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 7. Hasil perhitungan standar deviasi TMA Waduk Gajah Mungkur

Tanggal Perekaman	Jam Pencatatan TMA (WIB)	Tinggi Muka Air (m)	$(x - \bar{x})^2$	$S^2$	S
28 mei 1994	09.00-10.00	135.88	0.000016	0.2873	0.5360
20 juni 2000	09.00-10.00	136.58	0.484416		
13 april 2004	09.00-10.00	136.37	0.236196		
27 april 2009	09.00-10.00	135.19	0.481636		
1 april 2014	09.00-10.00	135.40	0.234256		
Jumlah		679.42	1.43652		

Sumber : *PJT I Wilayah Bengawan Solo dan Hasil Analisa, 2014*

Dari perhitungan standar deviasi tersebut didapat hasil standar deviasi sebesar 0,5360 yang berarti bahwa nilai tinggi muka air pada saat perekaman di masing – masing tahun relatif sama yang berarti data citra pada waktu perekaman yang digunakan dalam penelitian ini bisa digunakan untuk menganalisa perubahan morfometri waduk secara periodik.

**Validasi Lapangan**

Untuk mengetahui seberapa besar kesesuaian hasil pengolahan citra menggunakan rumus *BILKO* dan *AGSO* dengan keadaan di lapangan, maka dilakukan analisis untuk uji akurasi garis batas luasan waduk hasil interpretasi citra satelit dengan menggunakan metode *Confusion Matrix*. Perbandingan hasil pengolahan citra dengan kondisi di lapangan tersaji dalam tabel-tabel berikut.

1. *Confusion matrix* hasil pengolahan dengan rumus *BILKO*

Tabel 8. Hasil Uji Validasi Menggunakan *Confusion Matrix* metode *BILKO*

Survey Lapangan \ Hasil Interpretasi	Hasil Interpretasi		Total (piksel)	Omisi (%)	Ketelitian Prosedur (%)
	Darat	Air Waduk			
Darat	19	4	23	17.39	82.61
Air Waduk	1	11	12	8.33	91.67
Jumlah terkelaskan dengan benar			30		
Total	20	15	35		
Komisi	5	26.67			
Ketelitian Pengguna	95.00	73.33		Total	85.71

2. *Confusion matrix* hasil pengolahan dengan rumus *AGSO*

Tabel 9. Hasil Uji Validasi Menggunakan *Confusion Matrix* metode *AGSO*

Survey Lapangan \ Hasil Interpretasi	Hasil Interpretasi		Total (piksel)	Omisi (%)	Ketelitian Prosedur (%)
	Darat	Air Waduk			
Darat	17	6	23	26.09	73.91
Air Waduk	0	12	12	0	100.00
Jumlah terkelaskan dengan benar			29		
Total (piksel)	20	15	35		
Komisi (%)	0	40.00			
Ketelitian Pengguna (%)	85.00	80.00		Total	82.86

Keterangan :

*Overall Accuracy* : Akurasi untuk seluruh hasil pemetaan  
 Omisi : Jumlah piksel yang masuk ke kelas lain

Komisi : Jumlah piksel yang masuk dari kelas lain  
17 : Nilai piksel yang benar

## 5. Kesimpulan

Dari pelaksanaan penelitian pengolahan citra Landsat multi temporal dengan menggunakan rumus *BILKO* dan *AGSO* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari uji validasi hasil pengolahan rumus *BILKO* dan *AGSO* menggunakan metode *confusion matrix*, diketahui nilai kesesuaian hasil pengolahan citra Landsat 8 OLI perekaman tahun 2014 dengan mengaplikasikan rumus *BILKO* terhadap kondisi sebenarnya lapangan didapat akurasi sebesar 85,71 %, sedangkan untuk nilai kesesuaian hasil pengolahan citra Landsat dengan mengaplikasikan rumus *AGSO* terhadap kondisi sebenarnya lapangan didapat akurasi sebesar 82,86 %. Dapat diketahui bahwa rumus yang lebih efektif digunakan untuk menentukan batas antara darat dan air waduk adalah rumus *BILKO*. Dengan akurasi kedua rumus di atas 80 % dapat disimpulkan bahwa hasil pengolahan citra Landsat yang telah dilakukan dengan rumus *BILKO* dan *AGSO* dapat digunakan untuk menentukan batas antara darat dan air waduk.
2. Dari hasil pengolahan citra Landsat mengaplikasikan kedua metode, *BILKO* dan *AGSO*, dapat diketahui dinamika morfometri waduk Gajah Mungkur. Dari tahun 1994-2000 waduk Gajah Mungkur mengalami perluasan, kemudian pada tahun 2000-2009 waduk Gajah Mungkur mengalami penyempitan yang sangat signifikan, dan pada tahun 2009-2014 waduk Gajah Mungkur kembali mengalami penambahan luas. Dari hasil analisa arah perubahan luas waduk Gajah Mungkur hasil pengolahan dengan kedua metode, *BILKO* dan *AGSO*, didapat hasil bahwa arah perubahan waduk Gajah Mungkur cenderung terjadi pada arah timur, timur laut dan selatan waduk. Dimana pada arah timur terjadi pada daerah sub DAS Wiroko, pada arah timur laut terjadi pada sub DAS Keduang dan pada arah selatan terjadi pada daerah sub DAS Alang dan Solo Hulu.

## Saran

1. Sama seperti pada penelitian batas darat dan air dengan metode *BILKO* dan *AGSO* yang terdahulu, untuk menghasilkan hasil pengolahan citra yang lebih akurat dalam resolusi spasialnya, maka untuk penelitian selanjutnya citra yang digunakan disarankan menggunakan citra resolusi tinggi.
2. Proses digitasi citra dengan menggunakan proses *raster to vector* sekiranya bisa digunakan untuk pengolahan citra dengan rumus *BILKO* dan *AGSO*, karena pada dasarnya pengolahan citra dengan menggunakan kedua rumus tersebut menghasilkan perbedaan nilai piksel yang bisa memisahkan warna darat dan air yang jelas, sehingga proses konversi *raster to vector* bisa digunakan dengan hasil yang cukup bagus.
3. Untuk penelitian selanjutnya yang membutuhkan survey lapangan pada daerah waduk Gajah Mungkur disarankan menggunakan kendaraan yang memang diperuntukkan untuk daerah berbukit dan gunakanlah *safety shoes*, hal ini berguna untuk memperkecil resiko kelelahan saat berkendara, membantu saat survey saat musim hujan dan melindungi kaki dari serangan hewan liar seperti ular karena daerah sekitar waduk yang masih berupa hutan dan berbukit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Apridayanti, Eka. (2008). *Evaluasi Pengelolaan Lingkungan Perairan Waduk Lahor Kabupaten Malang Jawa Timur*. Diakses tanggal 22 April 2014, dari [www.eprints.undip.ac.id/17180/1/BAB\\_I.pdf](http://www.eprints.undip.ac.id/17180/1/BAB_I.pdf)
- Badan Informasi Geospasial. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove.
- Cahyani, S. D. (2012). *Deteksi Perubahan Garis Pantai dengan Metode BILKO dan AGSO*. Laporan Tugas Akhir Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang.
- Cole, Gerald. (1993). *Buku Teks Limnologi (Alih Bahasa Fatimah MD. Yusoff dan Shamsiah MD. Said)*. Dewan Bahasa dan Pustaka Kementerian Pendidikan Malaysia. Kuala Lumpur.
- Daruati, D. (2010). *Sedimentasi Di Waduk Gajah Mungkur*. Warta Limnologi – No. 45 / Tahun xxiii, Puslit-LIPI.
- Fee, E. J. (1979). *A Relation between Lake Morphometry and Primary Productivity and Its Use in Interpreting whole Lake Eutrophication Experiments*. Limnology and Oceanography.
- Hardini, A. R. (2012). *Analisa Spasial Dinamika Morfometri Waduk Menggunakan Data Satelit Multi Temporal Di Waduk Rawa Pening Provinsi Jawa Tengah*. Laporan Tugas Akhir Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang.
- Heddy, S dan Kurniati, M. (1994). *Prinsip-Prinsip Dasar Ekologi*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Hertanto, HB. (2011). *Struktur Geologi Wonogiri*. Diakses tanggal 20 Februari 2014, dari [www.geoenviron.blogspot.com/2011/11/struktur-geologi-wonogiri.html](http://www.geoenviron.blogspot.com/2011/11/struktur-geologi-wonogiri.html).
- Infocom HMJTS-UTY. (2011), *Analisis Waduk Gajah mungkur*. Diakses tanggal 20 februari 2014, dari [www.infocom-hmjts-uty.blogspot.com/2011/09/analisis-waduk-gajah-mungkur.html](http://www.infocom-hmjts-uty.blogspot.com/2011/09/analisis-waduk-gajah-mungkur.html).
- Lapan. (2012). *Koreksi Sistematis Geometri dan Radiometri*. Laporan Kegiatan Bimbingan Teknik Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional, Bogor.
- Lillesand, et al. (1990). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Oktopianto, Yogi. (2011). *Waduk*. Diakses tanggal 29 April 2014, dari [www.yogiecivil.blogspot.nl/2011/03/waduk.html](http://www.yogiecivil.blogspot.nl/2011/03/waduk.html)
- Pujiastuti, P. et al. (2013). *Kualitas Dan Beban Pencemaran Perairan Waduk Gajah Mungkur*. Portal Garuda IPI.
- Purwadhi, F.S.H. (2001). *Interpretasi citra digital*. Jakarta: PT Gramedia Widiasarana Indonesia.
- Setyantiningtyas, A. dan Hapsari, A F. (2010). *Perencanaan Operasi Dan Konservasi Waduk Mrica (Pb. Soedirman) Banjarnegara*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Sugianto. (2010). *Waduk Gajah Mungkur diantara Dua Musim*. Diakses tanggal 20 februari 2014, dari <http://sugiyantokenz.blogspot.com/2010/01/waduk-gajah-mungkur-diantara-dua-musim.html>.
- Sugiarto, D. P. (2013). *Landsat 8 : Spesifikasi Keunggulan dan Peluang Pemanfaatan Bidang Kehutanan*. Diakses tanggal 20 februari 2014, dari <http://tnrawku.wordpress.com/2013/06/12/Landsat-8-spesifikasi-keunggulan-dan-peluang-pemanfaatan-bidang-kehutanan>.
- Sulastri. (2012). *Peran Penelitian Limnologi Dalam Melestarikan Sumber Daya Perairan Darat*. Warta Limnologi – No. 48 / Tahun xxv, Puslit-LIPI.
- Susiati, H., Wijanarto, A. B. (2008). *Studi Awal Pemanfaatan Citra Satelit untuk Identifikasi Distribusi Sedimen di Perairan Semenanjung Muria*. Prosiding Seminar Nasional ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Bandung
- Sutanto. (1986). *Penginderaan Jauh Jilid I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Szyper, H & R. Goldyn. (2002). *Role of catchment area in the transport of nutriens to lakes in the Wielkopolska National Park in Poland*. Lakes & Reservoir: Research and Management
- Welch, P.S. (1952). *Limnology*. New York: McGraw-Hill.