

Deformation Study Of Darma Dam Using GPS Survey Method

Studi Deformasi Bendungan Darma Dengan Menggunakan Metode Survei GPS

Irwan Gumilar, H. Z. Abidin, H. Andreas, T.P. Sidiq, M. Gamal, M. Irsyam, I.A. Sadisun

Kelompok Keilmuan Geodesi FITB IT, Kelompok Keilmuan Geoteknik FTSL
ITB, Kelompok Keilmuan Geologi Terapan FITB ITB

Abstract. Darma Dam is located in the Village, District Kadugede, Kuningan regency, West Java, is a combination of the type heap dam (rockfill) and homogeneous soil deposits. Darma dam holds the potential disaster similar to the disaster Situ Gintung, Tangerang, which claimed hundreds of people. In fact, its potential is much more dangerous, if not anticipated. Darma dam is located in the hills, so that there is automatic in the area underneath paddies, plantations, and residential population that stretches from Kab. Kuningan, Kab. Cirebon, to Brebes, Central Java.

Seeing the potential dangers posed by Darma then it should dam was monitored his activities as one of the main ways to mitigate catastrophic collapse of the dam. One of the main methods used to monitor the activity of the dam is deformation using methods that are used to monitor the deformation of the dam is with a survey method GPS (Global Positioning System).

GPS surveys have been carried out for dam deformation monitoring Darma on December 9 to 10 May 2009 and 8 to 9 September 2009. GPS survey conducted in 19 point geodetic GPS receivers using two-frequency type. GPS survey detects horizontal and vertical deformation of the monitoring points around the dam Darma, in the order of a few mm in a period of about 5 months. Horizontal movements tend Dam Darma reservoir leads to the outside (away from the water), while for vertical shift seems not so clear (some point to decline (subsidence) and several point increase (uplift)).

This study is expected to provide better information on the characteristics of dam deformation Darma. By understanding these characteristics, it can be analyzed potential catastrophic dam collapse Darma in this area and mitigation mechanisms can also be planned.

Keywords : *GPS, dams, deformation*

Abstrak. Bendungan Darma yang terletak di Desa Darma, Kecamatan Kadugede, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat, merupakan bendungan tipe kombinasi timbunan batu (rockfill) dan timbunan tanah homogen. Bendungan Darma menyimpan potensi bencana yang serupa dengan musibah Situ Gintung, Tangerang yang menelan korban ratusan orang. Bahkan, potensinya jauh lebih berbahaya, jika tidak segera diantisipasi. Bendungan Darma terletak di atas perbukitan, sehingga otomatis di areal bawahnya terdapat pesawahan, perkebunan, dan perumahan penduduk yang membentang dari Kab. Kuningan, Kab. Cirebon, hingga Brebes Jawa Tengah.

Melihat potensi bahaya yang ditimbulkan oleh Bendungan Darma maka sudah selayaknya bendungan ini dipantau aktifitasnya sebagai salah satu cara dalam mitigasi bencana akibat jebolnya bendungan. Salah satu metode yang digunakan untuk memantau aktifitas bendungan adalah dengan menggunakan metode deformasi dengan metode survei GPS (Global Positioning System).

Survei GPS telah dilaksanakan untuk memantau deformasi Bendungan Darma, yaitu pada tanggal 09-10 Mei 2009 dan 08-09 September 2009. Survei GPS dilaksanakan pada 19 titik GPS menggunakan receiver GPS tipe geodetik dua-frekuensi. Survei GPS mendeteksi adanya deformasi horisontal maupun vertikal dari titik-titik pantau di sekitar Bendungan Darma, dalam orde beberapa mm dalam jangka waktu sekitar 5 bulan. Pergerakan horizontal Bendungan Darma cenderung mengarah ke arah luar waduk (menjauhi air), sedangkan untuk pergeseran vertikal nampak tidak begitu jelas (beberapa titik mengalami penurunan (subsidence) dan beberapa titik mengalami kenaikan (uplift)).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih baik terhadap karakteristik deformasi Bendungan Darma. Dengan memahami karakteristik tersebut, maka dapat dianalisis potensi bencana akibat jebolnya Bendungan Darma di daerah ini dan mekanisme mitigasinya juga dapat direncanakan.

Kata Kunci : *GPS, bendungan, deformasi*

1. Pendahuluan

Bendungan Darma (Waduk Darma) yang terletak di Desa Darma, Kecamatan Kadugede, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat, merupakan bendungan tipe kombinasi timbunan batu (rockfill) dan timbunan tanah homogen. Bendungan mulai dibangun pada jaman Belanda dan mulai dioperasikan pada tahun 1962. Perlindungan lereng hulu berupa blok – blok beton yang sekaligus sebagai lapisan kedap air. Tinggi maksimum bendungan rockfill adalah 36 meter dan panjang total tubuh bendungan adalah 340 meter. Volume tampung total Waduk Darma adalah 36 juta m³.

Bendungan Darma menyimpan potensi bencana yang serupa dengan musibah Situ Gintung, Tangerang yang menelan korban ratusan orang. Bahkan, potensinya jauh lebih berbahaya, jika tidak segera diantisipasi. Debit air Waduk Darma bisa mencapai 38 juta meter kubik dengan luas total waduk mencapai dua ratus hektar lebih. Bandingkan dengan Situ Gintung meski hanya menampung air dua juta meter kubik dan luas beberapa hektar saja, jumlah korban yang ditimbulkannya besar pada saat situ ini jebol (Pikiran Rakyat, 2009). Bendungan Darma terletak di atas perbukitan, sehingga otomatis di areal bawahnya terdapat pesawahan, perkebunan, dan perumahan penduduk yang membentang dari Kab. Kuningan, Kab. Cirebon, hingga Brebes Jawa Tengah.

Melihat potensi bahaya yang ditimbulkan oleh Bendungan Darma maka sudah selayaknya Bendungan ini dipantau sebagai salahsatu cara dalam mitigasi bencana akibat kemungkinan jebolnya bendungan. Salah satu metode yang digunakan untuk memantau aktifitas bendungan adalah dengan menggunakan metode deformasi. Terdapat dua metode untuk memantau deformasi yang terjadi pada bendungan, yaitu metode geodetik dan non geodetik. Salah satu metode geodetik yang sekarang sering digunakan adalah metode survei GPS (*Global Positioning System*). Secara teoritis metode survei GPS dapat memberikan perbedaan koordinat suatu titik dengan tingkat ketelitian dalam millimeter sampai centimeter.

Studi ini dilakukan untuk mempelajari deformasi Bendungan Darma dengan menggunakan metode survei GPS; yaitu utamanya terkait dengan penentuan besarnya pergeseran dan pergerakan titik-titik sepanjang badan bendungan dengan metode survei GPS. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih baik terhadap karakteristik deformasi

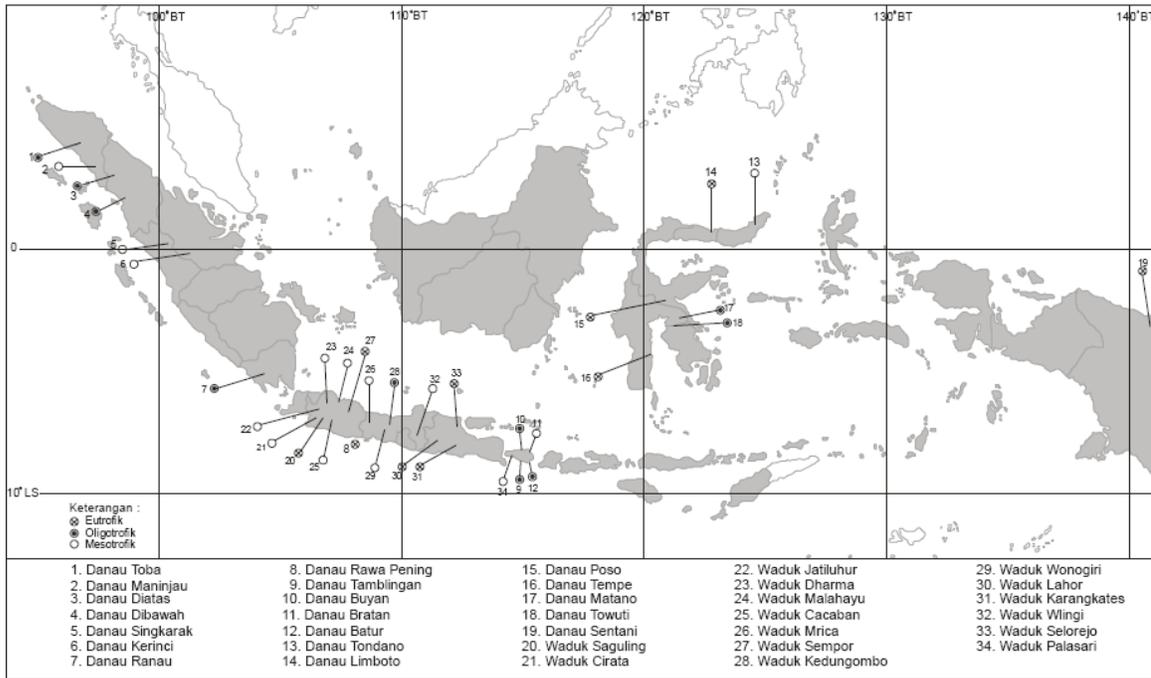
Bendungan Darma. Dengan memahami karakteristik tersebut, maka dapat dianalisis potensi bencana akibat jebolnya Bendungan Darma di daerah ini dan mekanisme mitigasinya juga dapat direncanakan. Hasil penelitian ini juga dapat jadi masukan bagi Pemda Jawa Barat dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan di kawasan rawan bencana jebolnya bendungan di sekitar Kuningan.

Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat berkontribusi positif terhadap sains dan teknik yang terkait dengan studi deformasi bendungan untuk tujuan pemantauan potensi bencana alam akibat jebolnya bendungan, serta dapat membuka cakrawala baru bagi penelitian pemantauan deformasi bendungan di masa mendatang, tidak hanya di Bendungan Darma khususnya, tapi juga di daerah-daerah lain di Indonesia, yang memiliki potensi bencana jebolnya bendungan yang cukup besar.

2. Bendungan Di Indonesia

Danau/situ/waduk/embung adalah salah satu sumber air tawar yang menunjang kehidupan semua makhluk hidup dan kegiatan sosial ekonomi manusia. Ketersediaan sumber daya air, mempunyai peran yang sangat mendasar untuk menunjang pengembangan ekonomi wilayah. Sumber daya air yang terbatas disuatu wilayah mempunyai implikasi kepada kegiatan pembangunan yang terbatas dan pada akhirnya kegiatan ekonomipun terbatas sehingga kemakmuran rakyat makin lama tercapai. Air danau/waduk digunakan untuk berbagai pemanfaatan antara lain sumber baku air minum air irigasi, pembangkit listrik, penggelontoran, perikanan dsb, jadi betapa pentingnya air tawar yang berasal dari waduk/danau bagi kehidupan. Pembangunan waduk diperuntukkan berbagai keperluan antara lain pembangkit listrik, irigasi, pengendalian banjir, sumber baku air minum, air industry, penggelontoran, air perikanan, tempat pariwisata. Jumlah tenaga listrik yang dihasilkan dari tenaga air yang berasal dari waduk ada sebanyak 3,4% dari total kebutuhan nasional (Pusair, 2005).

Waduk sering juga disebut danau buatan yang besar. Menurut Komisi Dam Dunia Bendungan/Waduk besar adalah bila tinggi bendungan lebih dari 15 m, Sedangkan Embung merupakan waduk kecil dan tinggi bendungannya kurang 15 m. Embung banyak dibangun di Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat. Pembangunan waduk besar di Indonesia sampai tahun 1995 kurang lebih 100 buah. Dan sebagian besar 80% berlokasi di P.Jawa. Sejak terjadi krisis moneter pada tahun 1998, pembangunan waduk besar di Indonesia belum dilakukan lagi kecuali perencanaan Waduk Jatigede di Kabupaten Sumedang Provinsi Jawa Barat. Sistem tata air waduk berbeda dengan danau alami. Pada waduk komponen tata airnya umumnya telah direncanakan sedemikian rupa sehingga volume, kedalaman, luas, perseptasi, debit inflow/out flow waktu tinggal air diketahui dengan pasti. Distribusi waduk dan danau di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Sebaran Waduk dan Danau di Indonesia (Pusair, 2005)

3. Bendungan Darma

Bendungan Darma yang terletak di Desa Darma, Kecamatan Kadugede, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat, merupakan bendungan tipe kombinasi timbunan batu (rockfill) dan timbunan tanah homogen. Bendungan mulai dibangun pada jaman Belanda dan mulai dioperasikan pada tahun 1962. Perlindungan lereng hulu berupa blok – blok beton yang sekaligus sebagai lapisan kedap air. Tinggi maksimum bendungan rockfill adalah 36 meter dan panjang total tubuh bendungan adalah 340 meter. Volume tampung total Waduk Darma adalah 36 juta m³.

Bendungan Darma dikelola oleh Dinas PU Pengairan Jabar, dengan konsultan desain: Biro Insinyur PT Gateni, dan Kontraktor: Dinas PU Pengairan Jabar. Pembangunannya dilaksanakan dari tahun 1959 s/d 1962. Data umum, hidrologi, waduk, bendungan, pelimpah dan bangunan pengeluaran dapat dilihat pada Tabel 1 s/d Tabel 4 berikut ini (Pusair, 2002):

Tabel 1. Data umum Bendungan Darma

Tabel 2. Data hidrologi dan Waduk Bendungan Darma

SWS	Cimanuk
Desa	Darma
Kecamatan	Kadu Gede
Kabupaten	Kuningan
Propinsi	Jabar
Manf. irigasi (ha)	22.316,00
Manf. listrik (KWH/thn)	-
Manf. Air baku (m ³ /det)	-
Manf. lain	-
Mulai konstruksi	1959
Selesai konstruksi	1962
Biaya Kons (10 ⁶ Rp)	-
Biaya Kons.(US\$)	-
Pengelola	Dinas PU Pengairan Jabar
Kon-Desain	Biro Insinyur PT Gatani
Kontraktor	Dinas PU Pengairan Jabar

Data hidrologi :	
Anak sungai	-
Induk sungai	Cisanggarung
Luas Daerah Aliran (km ²)	23,50
Crh h. tahunan (mm)	2.545,00
Crh h. desain Peng. (mm)	-
Debit desain pengelak (m ³ /sek)	-
Kala ulang T	-
Data waduk :	
Elev. MAB (m)	713,40
Elev. MAN (m)	712,50
Elev. MAM (m)	697,00
Vol. MAB (10 ⁶ m ³)	40,520
Vol. MAN (10 ⁶ m ³)	37,90
Vol. mati (10 ⁶ m ³)	4,00
Vol. efektif (10 ⁶ m ³)	33,90

Tabel 3. Data kegunaan dan Bendungan Darma

Data kegunaan :	
Zona pada peta 99	D
a _d pada T = 100 tahun	0,178 g
a _d pada T = 5000 tahun	0,310 g
a _d pada T = 10000 tahun	0,329 g
Tingkat bencana (Peta)	
Data bendungan :	
Tipe	UBM
Elev. puncak (m)	714,00
Jagaan MAB (m)	0,60
Jagaan MAN (m)	1,50
Tinggi terh. D.sungai (m)	35,50
Tinggi terh. D. gal. (m)	37,50
Panj. puncak (m)	445,00
Lebar puncak (m)	12,50
Vol. tubuh (m ³)	165.000,00
Lereng U/S	1,60
Lereng D/S	1,30

Tabel 4. Data pelimpah dan pengeluaran Bendungan Darma

Data pelimpah :	
Tipe	<i>Morning glory, Ogee tanpa pintu</i>
Q-desain (m ³ /sek)	8.000,00
T- ulang (thn)	10.000
Kapasitas (m ³ /sek)	3.000,00
Elev. Mercu (m)	+ 107,00
Jumlah pintu (bh)	-
Panj. Mercu (m)	157,00
Grs.tengah (m)	90,00
Bangunan pengeluaran irigasi:	
Data bangunan pengeluaran listrik / <i>Headrace</i> :	
Tipe	-
Bentuk penampang	-
Jumlah (bh)	-
Grs. Tengah (m)	-
Panjang (m)	-
Tipe alat operasi	-
Kapasitas	-
Kemiringan	-

Gambaran umum dari bendungan Waduk Darma dapat dilihat pada Gambar 2 s/d Gambar 4 berikut ini:



Gambar 2. Bendungan utama dilihat dari bukit ebatmen kiri.



Gambar 3. Puncak bendungan utama dilihat dari ebatmen bagian kiri.



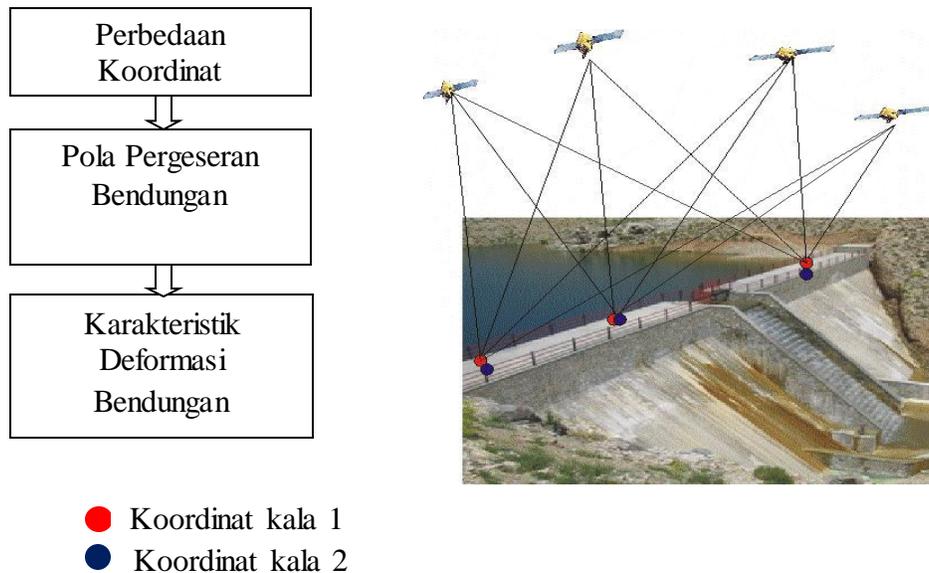
Gambar 4. Bahu jalan puncak bendungan bagian udik

Jelas terlihat bahwa Bendungan Darma (Gambar 2 s/d 4) dilalui oleh kendaraan yang berlalu-lalang. Pada tahun 2007 PSDA telah merencanakan akan mengalihkan arah lalu lintas Kabupaten Kuningan dengan Ciamis jauh di bagian hilir bendungan.

4. Prinsip Pemantauan Deformasi Bendungan Dengan Metode Survei GPS

GPS adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang berbasiskan pada pengamatan satelit-satelit *Global Positioning System* [Abidin, 2000]. Prinsip penentuan deformasi bendungan dengan metode survei GPS [Abidin *et al.*, 2002] dapat diilustrasikan dengan Gambar 5.

Pada metode ini, beberapa titik yang ditempatkan pada beberapa lokasi yang dipilih, secara periodik ditentukan koordinatnya secara teliti dengan menggunakan metode survei GPS. Dengan mempelajari perubahan koordinat dari titik-titik tersebut dari survei yang satu ke survei berikutnya, kemudian bersama data-data penunjang lainnya maka karakteristik deformasi bendungan akan dapat dilihat dan dipelajari .



Gambar 5. Prinsip pemantauan deformasi bendungan dengan metode survai GPS

Perlu dicatat di sini bahwa dalam konteks studi deformasi bendungan dengan metode survei GPS, ada beberapa keunggulan dan keuntungan yang ditawarkan, yaitu seperti yang dijelaskan berikut :

- 1) GPS memberikan nilai vektor pergerakan dalam tiga dimensi (dua komponen horisontal dan satu komponen vertikal), jadi disamping memberikan informasi tentang besarnya vektor pergerakan bendungan dalam arah horisontal, GPS juga sekaligus memberikan informasi tentang vektor pergerakan bendungan dalam arah vertikal.
- 2) GPS memberikan nilai vektor pergerakan dalam suatu sistem koordinat referensi yang tunggal. Dengan itu maka GPS dapat digunakan untuk memantau pergerakan suatu wilayah secara lokal secara efektif dan efisien.
- 3) GPS dapat memberikan nilai vektor pergerakan dengan tingkat presisi sampai beberapa mm, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal. Dengan tingkat presisi yang tinggi dan konsisten ini maka diharapkan besarnya pergerakan bendungan yang kecil sekalipun akan dapat terdeteksi dengan baik.
- 4) GPS dapat dimanfaatkan secara kontinyu tanpa tergantung waktu (siang maupun malam), dalam segala kondisi cuaca. Dengan karakteristik semacam ini maka pelaksanaan survei GPS untuk pemantauan pergerakan kerak bumi dalam fase interseismic dapat dilaksanakan secara efektif dan fleksibel.

5. Pelaksanaan Survei GPS

Dalam penelitian ini dua survei GPS telah dilaksanakan untuk memantau deformasi Bendungan Darma, yaitu pada tanggal 09-10 Mei 2009 dan 08-09 September 2009. Survei GPS dilaksanakan pada 19 titik GPS menggunakan receiver GPS tipe geodetik dua-frekuensi. Lokasi dan distribusi titik-titik GPS tersebut ditunjukkan pada Gambar 6. Survei GPS ini dilaksanakan oleh staf dari KK Geodesi ITB serta mahasiswa program studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.



Dalam pengamatan satelit-satelit GPS, setiap titik umumnya mengamati sekitar 6 sampai 8 jam. Pengamatan dilaksanakan dengan data interval sebesar 30 detik serta *mask angle* sebesar 15° . Contoh dari beberapa titik GPS di kawasan Bendungan Darma ini ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 6. Distribusi titik GPS untuk pemantauan deformasi Bendungan Darma.



Gambar 7. Beberapa Stasion GPS di sekitar Bendungan Darma

6. Pengolahan Data Hasil Dan Analisis

Pengolahan data seluruh survei GPS dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Ski Pro 2.1. Penggunaan perangkat lunak ini didasarkan pada panjang baseline yang cukup pendek. Pengolahan dilakukan secara radial dengan mengikatkan titik-titik pantau sekitar bendungan ke titik Base yang berada di kantor Bendungan Darma (atas bendungan) yang sebelumnya titik ini telah diikatkan ke titiknya Bakosurtanal di Cibinong (BAKO).

Perangkat lunak SKI Pro dikembangkan oleh vendor Leica. *Software* ini merupakan salah satu jenis *software* komersil yang banyak digunakan di kalangan profesional yang menggeluti bidang GPS. *Software* ini memiliki keunggulan-keunggulan di bandingkan *software* lainnya dalam hal *user friendly* dan menu *stochastic modeling*.

SKI Pro mempunyai karakteristik umum sebagai berikut :

- Semua data pengamatan yang dikoleksi menggunakan receiver tipe geodetik berketelitian tinggi bisa diolah dan mampu menangani penggunaan berbagai macam jenis antena receiver dalam satu proyek survey karena tersedianya fasilitas untuk memodelkan kesalahan pusat fase antena yang bermacam-macam.
- Program untuk memodelkan secara simultan parameter-parameter bias GPS
- Menyediakan fasilitas beberapa pemodelan bias troposfir dan ionosfir yang bisa dipilih sesuai dengan kebutuhan pengguna.

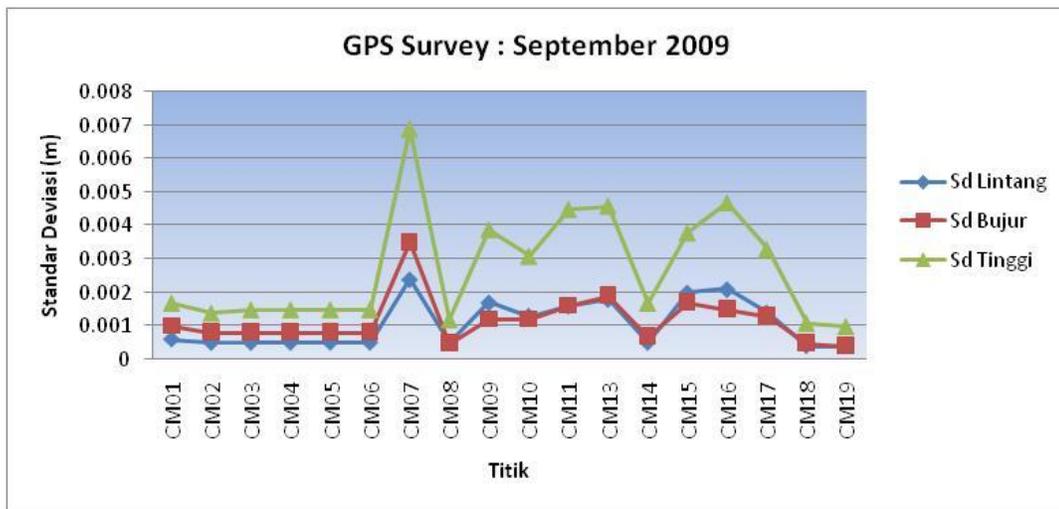
- Memiliki strategi resolusi ambiguitas dengan cara FARA (*Fast Ambiguity Resolution Approach*)
- Mampu mengolah jaring GPS yang cukup besar sampai 100 baseline
- Software SKIpro dapat digunakan untuk mengolah data GPS baik single positioning, pengolahan baseline, perataan jaring, maupun transformasi koordinat.

Parameter yang digunakan dalam strategi pengolahan data GPS diringkaskan pada Tabel 5 berikut .

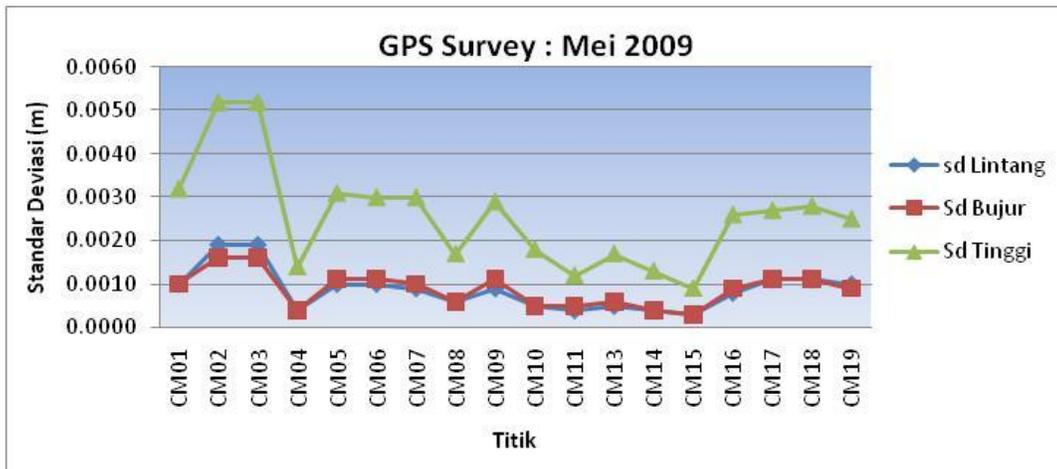
Tabel 5. Parameter dari strategi pengolahan data GPS.

Orbit	: Broadcast ephemeris
Efek troposfir	: Dimodelkan dengan model Hopfield
Efek ionosfir	: Dimodelkan
Ambiguitas fase	: Metode penentuan ambiguitas menggunakan metode FARA (<i>Fast Ambiguity Resolution Approach</i>)

Ketelitian koordinat geodetik (Lintang, Bujur, tinggi Ellipsoid atau L,B,h) dari titik-titik GPS yang diperoleh dari survei GPS yang telah dilaksanakan pada bulan Mei dan September 2009 ini diberikan Gambar 8 dan 6.2 terlihat bahwa deviasi standar dari komponen koordinat geodetik yang diperoleh, umumnya berada pada level beberapa mm. Ini menunjukkan bahwa pengolahan data telah dilakukan secara baik dan benar.



Gambar 8 Standar deviasi dari komponen koordinat (survei Mei 2009).



Gambar 9. Standar deviasi dari komponen koordinat (survei November 2007).

Koordinat geodetik dari titik-titik GPS kemudian ditransformasi ke koordinat UTM (Easting, Northing atau E,N), selanjutnya berdasarkan koordinat dari kedua epok survei, vektor pergeseran titik ($dE_{12}, dN_{12}, dh_{12}$) dapat dihitung sebagai berikut :

$$dE_{12} = E_2 - E_1 ; dN_{12} = N_2 - N_1 ; dh_{12} = h_2 - h_1$$

Vektor pergeseran titik yang diperoleh dari dua survei GPS beserta standar deviasinya diberikan pada Tabel 6.

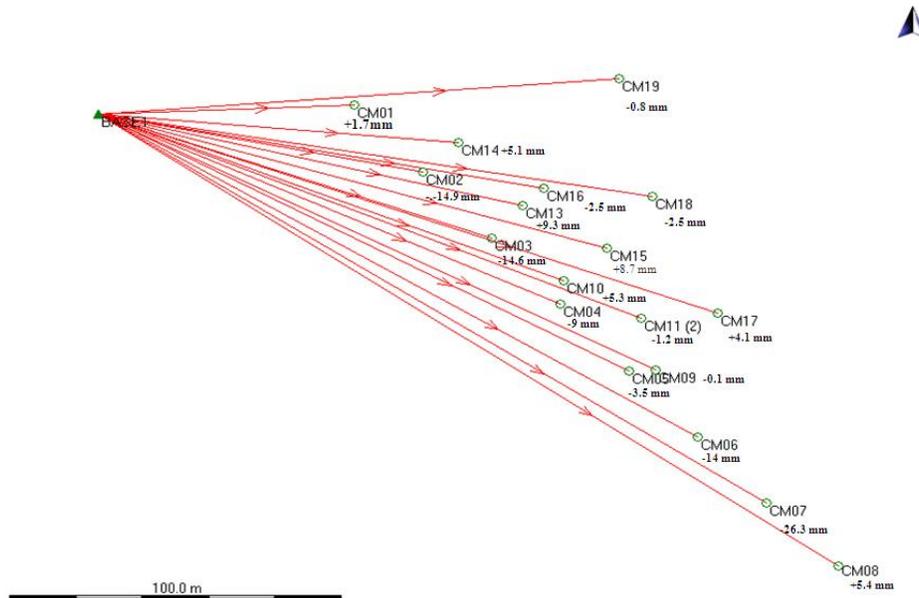
Tabel 6. Vektor pergeseran titik-titik GPS di Bendungan Darma.

nama titik	dE ₁₂ (m)	dN ₁₂ (m)	dh ₁₂ (m)	dE ₁₂ (m)	dN ₁₂ (m)	dh ₁₂ (m)
CM01	0.0011	0.0136	-0.0028	0.0014	0.0012	0.0036
CM02	-0.0140	0.0064	0.0043	0.0018	0.0020	0.0054
CM03	-0.0141	0.0041	0.0010	0.0018	0.0020	0.0054
CM04	-0.0086	0.0038	0.0061	0.0009	0.0006	0.0021
CM05	-0.0041	-0.0002	-0.0088	0.0014	0.0011	0.0034
CM06	-0.0110	0.0089	-0.0186	0.0014	0.0011	0.0034
CM07	-0.0266	0.0068	0.0009	0.0036	0.0026	0.0075
CM08	0.0094	0.0048	0.0242	0.0008	0.0008	0.0021
CM09	0.0015	0.0033	0.0003	0.0016	0.0019	0.0049
CM10	0.0096	0.0103	0.0118	0.0013	0.0014	0.0036
CM11	0.0025	0.0098	0.0052	0.0017	0.0016	0.0047
CM13	0.0128	0.0150	0.0133	0.0020	0.0019	0.0049
CM14	0.0058	0.0101	0.0282	0.0008	0.0006	0.0021
CM15	0.0150	0.0221	0.0049	0.0017	0.0020	0.0039
CM16	-0.0023	0.0016	-0.0040	0.0017	0.0022	0.0054
CM17	-0.0020	-0.0187	0.0022	0.0017	0.0018	0.0043

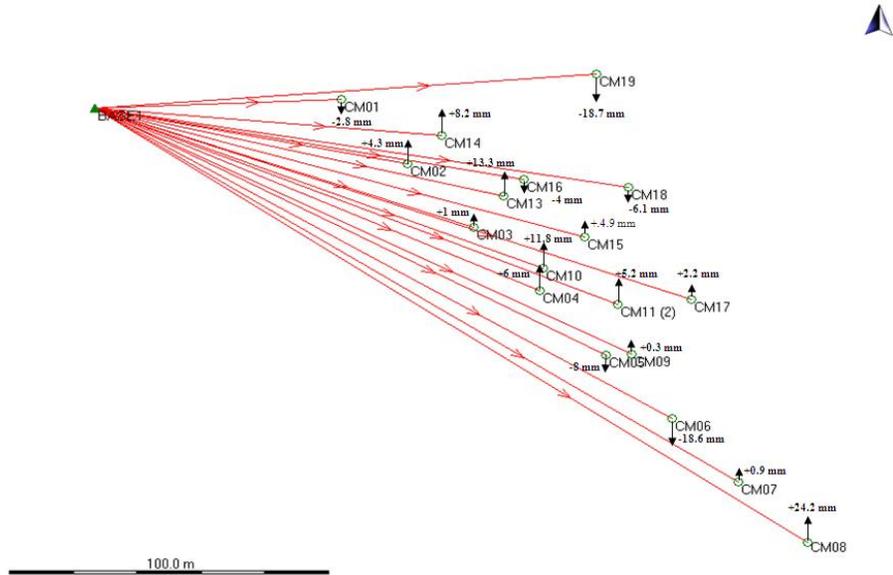
CM18	-0.0041	-0.0102	-0.0061	0.0012	0.0012	0.0030
CM19	0.0004	-0.0150	-0.0187	0.0010	0.0011	0.0027

Apabila kita lihat hasil pada Tabel 6 di atas, terlihat bahwa terjadi pergeseran titik-titik pantau GPS di sekitar bendungan dalam orde mm untuk periode waktu sekitar 5 bulan. Dilihat dari pola deformasi horisontal titik GPS yang diperoleh, secara umum terlihat bahwa deformasi yang terjadi mengarah ke arah luar waduk (menjauhi air) walaupun dengan nilai pergeseran yang cukup kecil. Hal ini terjadi diakibatkan oleh beban dari air di waduk Darma itu sendiri. Pergeseran untuk komponen vertikal terlihat tidak terlalu jelas, ada beberapa titik yang mengalami kenaikan dan ada beberapa titik yang mengalami penurunan, tetapi secara umum besarnya pergerakan komponen vertikal ini cukup kecil. Pergeseran vertikal kemungkinan diakibatkan oleh beban air yang masuk ke dalam badan bendungan (melalui rembesan akibat kebocoran) juga disebabkan oleh beban kendaraan yang melewati bendungan.

Vektor pergeseran untuk komponen horisontal dan vertikal dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11 berikut ini:



Gambar 10. Pergeseran horisontal Bendungan Darma



Gambar 11. Pergeseran vertikal Bendungan Darma

Beberapa dokumentasi yang mungkin dapat mengindikasikan terjadi deformasi di Bendungan Darma dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini (PUSAIR, 2002):



Gambar 12. Dokumentasi kerusakan pada badan Bendungan Darma

7. Kesimpulan Dan Saran

Dari hasil penelitian ini ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil yaitu :

- a. Survei GPS mendeteksi adanya deformasi horisontal maupun vertikal dari titik-titik pantau di sekitar Bendungan Darma, dalam orde beberapa mm dalam jangka waktu sekitar 5 bulan
- b. Pergerakan horizontal bendungan Darma cenderung mengarah ke arah luar waduk (menjauhi air), sedangkan untuk pergeseran vertikal nampak tidak begitu jelas (beberapa titik mengalami penurunan (*subsidence*) dan beberapa titik mengalami kenaikan (*uplift*)).

8. Daftar Pustaka

Abidin, H.Z. (2000). *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. Second edition. ISBN 979-408-377-1. 268 pp.

Abidin, H.Z., A. Jones, J. Kahar (2002). *Survei Dengan GPS*. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. ISBN 979-408-380-1. Second Edition. 280 pp.

Pikiran Rakyat (2004). "Waduk Darma Bisa Berbahaya Seperti Situ Gintung", *HU Pikiran Rakyat*, Rabu, 1 April 2009.

PUSAIR. (2005). *Pengelolaan Danau dan Waduk di Indonesia*, Website address : <http://www.pusair-pu.go.id/>

PUSAIR. (2002). *Laporan Investigasi dan Perencanaan Geoteknik Untuk Permasalahan Bocoran Pada Bangunan Darma*, Kuningan, Jawa Barat.