

PERHITUNGAN FAKTOR EMISI CO₂ PLTU BATUBARA DAN PLTN

Ari Nugroho

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) – BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp./Fax: (021) 5204243, Email : jimhani99@yahoo.com

Masuk:

Direvisi:

Diterima:

ABSTRAK

MODIFIKASI BENCHMARK DAN PENGARUHNYA TERHADAP AKURASI PENGUKURAN DEFORMASI DI MURIA. *Monitoring deformasi di sekitar Gunung Muria, Jawa Tengah direkomendasikan oleh IAEA (International Atomic Energy Agency) untuk dilakukan di sekitar calon tapak PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data tentang perubahan deformasi akibat adanya aktivitas vulkanik dari Gunung Muria sebagai analisis awal bahaya Gunung Muria terhadap keselamatan bangunan PLTN. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui ketelitian dari dua sesi pengukuran deformasi dengan BM (Benchmark) yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan alat GPS (Global Positioning System) geodetik jenis Trimble R7 GNSS. Pengukuran pada Bulan April s/d Juli 2011 digunakan BM standar, dilakukan di delapan BM yaitu BKI (Bopkri), UJW (Ujung Watu), PDP (Perdopo), RTW (Rahtawu), RGG (Rengging), KTP (Ketek Putih), CRG (Cranggang), DM (Danyang Mulyo) dan di pantau terhadap satu BM bernama Mijen. Pengukuran pada bulan November 2011 digunakan BM yang sudah dimodifikasi, dilakukan di enam BM yaitu BKI, PDP, RTW, RGG, KTP, CRG dan di pantau terhadap BM yang sama. Hasil pengukuran dengan BM standar menghasilkan ketelitian horisontal berkisar 4 - 7 mm dan vertikal 16 - 28 mm, sedangkan untuk BM yang sudah dimodifikasi menghasilkan ketelitian horisontal berkisar 0,6 mm - 1,3 mm, dan vertikal 0,3 - 0,6 mm.*

Kata kunci: Deformasi, global positioning system, metode diferensial.

ABSTRACT

THE EFFECT OF MODIFIED BENCHMARK ON THE ACCURACY OF MEASURING THE DEFORMATION AT MURIA. *The monitoring of deformation surrounding the Muria mountain is recommended by The IAEA (International Atomic Energy Agency). In addition, this study also to provide the data of deformation caused by the volcanic activity of Mount Muria, as a basic study in analyzing the volcanic hazard toward the NPP (Nuclear Power Plant). The main purpose of this study is to discover the accuracy between the two measurements by using the different BM (Benchmark). This study uses geodetic GPS (Global Positioning System) Trimble R7 GNSS. The measurement in the month of April to July 2011 used the standar BM and conducted in eight BM which are BKI (Bopkri), UJW (Ujung Watu), PDP (Perdopo), RTW (Rahtawu), RGG (Rengging), KTP (Ketek Putih), CRG (Cranggang), DM (Danyang Mulyo) and refer to one reference BM named Mijen. The measurement in the month of November 2011 used the modified BM and conducted in six BM which are BKI, PDP, RTW, RGG, KTP, CRG refered to the same reference BM named Mijen. These measurements resulted data in the range of 4-7 mm (horizontal), 16-28 mm (vertical), and in the range of 0.6 mm - 1.3 mm (horizontal), 0.3 mm - 0.6 mm, respectively.*

Keywords: Deformation, global positioning system, differential method.

1. PENDAHULUAN

Dalam usaha mendukung pemerintah untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat, maka BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) melakukan kajian persiapan pemilihan lokasi calon tapak PLTN (Pembangkit Listrik tenaga Nuklir) yang layak dan aman. Salah satu kegiatan yang dilakukan adalah kajian aspek keselamatan calon tapak PLTN dari akibat aktivitas vulkanik Gunung berapi.

Berdasarkan hasil penelitian deformasi Muria tahun 2010, diperoleh data dengan nilai RMS (*Root Mean Square*) alat ukur GPS yang besar, sehingga diperoleh data dengan nilai akurasi yang rendah, yaitu > 5 cm (akurasi yang di harapkan < 1 cm). Hal ini selain disebabkan oleh kurang lamanya waktu pengukuran, yaitu 2,5 jam (standar minimum waktu pengukuran 10 jam) juga disebabkan oleh kesalahan operator ketika melakukan *centering* dan *leveling*^[1]. Guna meningkatkan nilai akurasi telah dilakukan pengukuran selama 10 jam, dan nilai akurasi meningkat menjadi 2.5 cm^[2]. Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi BM pada pengukuran deformasi Muria untuk mengurangi kesalahan operator saat melakukan *centering* dan *leveling*.

Tujuan penelitian ini untuk mendukung aspek keselamatan dan keandalan (*safety and reliability aspect*) calon tapak PLTN di Semenanjung Muria, Jawa Tengah. Dengan mengetahui adanya nilai deformasi lokal yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik Gunung Muria, maka akan diperoleh informasi tentang status aktif atau tidaknya Gunung tersebut, yang berguna sebagai bahan untuk analisis bahaya Gunung Muria terhadap calon tapak PLTN.

2. METODOLOGI

2.1. *Global Positioning System (GPS)*

GPS adalah suatu sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi koordinat di muka bumi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan^[3]. Pada saat ini, sistem GPS sudah sangat banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi. Di Indonesia pun GPS sudah banyak diaplikasikan, terutama yang terkait dengan aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan puluhan meter. Prinsip kerja dari GPS adalah menyampaikan sinyal dari satelit ke *receiver* GPS yang jaraknya sama dengan beda waktu tempuh dikalikan dengan kecepatan cahaya. Waktu tempuh sinyal dari satelit ke *receiver* diproses secara matematis oleh *receiver* dan diterjemahkan menjadi letak posisi koordinatnya di atas permukaan bumi^[3].

2.2. Deformasi

Deformasi adalah sebagai perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu materi secara absolut maupun relatif dalam suatu kerangka referensi tertentu akibat suatu gaya yang bekerja pada materi tersebut^[4]. Ada dua sifat deformasi, yaitu sifat elastik, yang didefinisikan sebagai suatu materi yang mengalami deformasi akan kembali ke bentuk semula setelah gaya deformasinya tidak bekerja lagi pada materi tersebut, dan sifat plastik, yaitu suatu materi yang mengalami deformasi tidak akan kembali ke bentuk semula setelah terdeformasi karena efek-efek yang terjadi menempel pada materi tersebut^[4]. Pada prinsipnya, indikasi dari adanya deformasi permukaan tanah ditunjukkan dengan adanya pergeseran titik koordinat pada arah sumbu-x. Secara global, deformasi dapat disebabkan oleh adanya pergerakan lempeng benua, sedangkan secara regional dapat disebabkan oleh

pergerakan *fault* (patahan) baik di *offshore* atau di *onshore* maupun karena adanya aktivitas vulkanik.

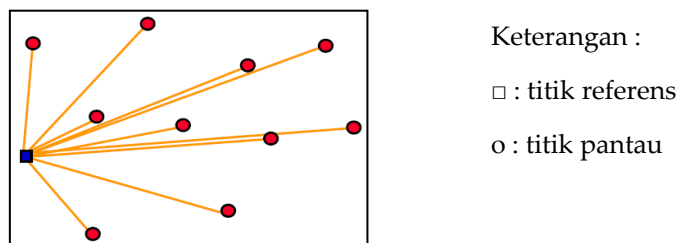
2.3. Analisis deformasi

Tujuan analisis deformasi adalah untuk menentukan kuantitas pergeseran dan parameter-parameter deformasi yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu. Parameter deformasi ini didapat dari hasil pergeseran koordinat titik objek dalam pengamatan yang dilakukan berkala maupun kontinyu. Secara garis besar tahapan-tahapan yang dilakukan dalam analisis deformasi yaitu: penyelenggaraan kerangka dasar, pengolahan data, analisis nilai pergeseran yang terjadi pada benda yang terdeformasi dan penentuan model deformasi yang sesuai^[5].

Analisis deformasi dapat dilakukan secara geometrik, yaitu analisis regangan dengan hanya mengamati status geometri (ukuran dan dimensi) objek yang diamati. Data hasil pengamatan geodetik terhadap efek-efek respon suatu materi terhadap gaya yang bekerja padanya dapat membantu untuk menyusun suatu model matematik yang mewakili jenis deformasi. Analisis geometrik ini dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis. Jenis yang pertama adalah pergeseran, yaitu analisis yang menunjukkan perubahan posisi suatu benda dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari perataan data pengamatan pada kala berbeda. Jenis yang kedua adalah regangan, yaitu analisis yang menunjukkan perubahan posisi, bentuk dan ukuran suatu benda dengan menggunakan data pengamatan geodetik. Pemantauan deformasi dengan menggunakan survei GPS dapat dilakukan secara episodik maupun kontinyu. Dalam metode episodik, pemantauan deformasi dilakukan dengan mengamati secara teliti perubahan koordinat beberapa titik pada lokasi yang dipantau dengan selang waktu tertentu, seperti setahun sekali. Sedangkan dalam metode kontinyu, pengamatan GPS dilakukan secara berkelanjutan. Dalam pemantauan deformasi diperlukan tingkat ketelitian pergeseran posisi yang tinggi, yaitu umumnya pada *level* mm/tahun, sehingga diperlukan *receiver* geodetik dengan dua frekuensi dan lama pengamatan yang relatif panjang dan berkelanjutan^[6].

2.4. Metode penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode radial, yaitu salah satu cara pengukuran diferensial untuk menentukan posisi koordinat relatif terhadap titik lain yang sudah diketahui koordinatnya, umumnya metode radial hanya menggunakan sebuah titik referensi (Gambar 1).



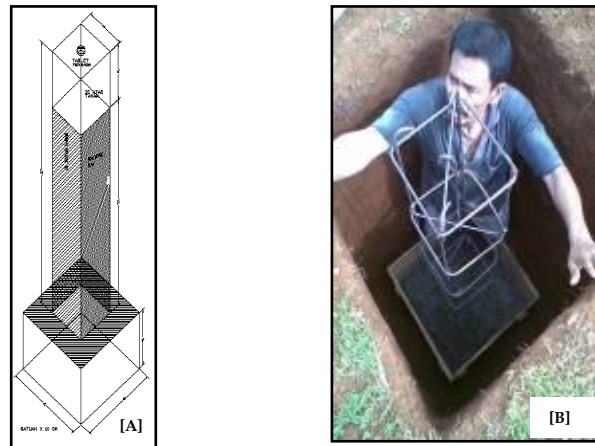
Gambar 1. Metode radial.

Pada Gambar 1 diilustrasikan pengukuran beberapa titik yang akan dimonitor (Gambar berbentuk lingkaran) secara relatif terhadap satu titik referensi (Gambar berbentuk kotak). Pada pengukuran radial biasanya digunakan GPS sesuai dengan banyaknya titik koordinat yang akan dimonitor sehingga dibutuhkan *receiver* yang lebih banyak bila dibandingkan dengan metode jaring^[7].

2.5. Peralatan

2.5.1. Pondasi *benchmark* (BM)

Salah satu fasilitas untuk menunjang kegiatan monitoring deformasi adalah pondasi BM, yang berguna sebagai wahana untuk menentukan posisi koordinat yang akan dimonitor. Menurut BAKOSURTANAL, spesifikasi untuk BM biasa yang diukur secara berulang adalah: BM terbuat dari beton, rangka besi, ukuran besi beton 8 mm, pilar dasar berukuran 60x60x30 cm, batang pilar berukuran 140x30x30 cm (Gambar 2a). Pondasi BM ditanam di tanah dan muncul di permukaan tanah setinggi 150 cm (Gambar 2b), Pin di tanam di atas permukaan pilar dari bahan *stainless steel* atau *brass-tablet* (tablet tembaga)^[5].

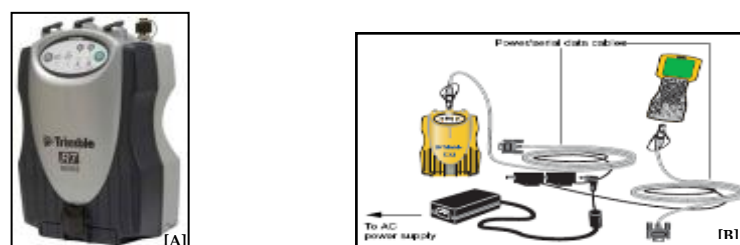


Gambar 2. (a) Spesifikasi BM, (b) Pondasi BM.

Syarat pemilihan lokasi dari BM yang baik agar terhindar dari *noise* adalah: terbuka dan tidak ada halangan (bangunan, pohon besar, listrik tegangan tinggi) ke segala mata angin sehingga sinyal satelit GPS dapat diterima oleh antena GPS tanpa gangguan. Kondisi lapisan tanah tempat lokasi BM harus stabil dan tidak lembek agar posisi BM tidak berubah. Lingkungan dari BM juga harus aman dari gangguan perusakan, perkembangan pembangunan atau pertumbuhan tanaman yang dikemudian hari daun-daun atau batangnya dapat menghalangi sinyal dari satelit ke *receiver*^[5].

2.5.2. GPS geodetik dan kabel

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua unit *GPS* geodetik *Trimble* jenis *R7 GNSS* (Gambar 3a).



Gambar 3. (a) *GPS Trimble R7*, (b) Kabel.

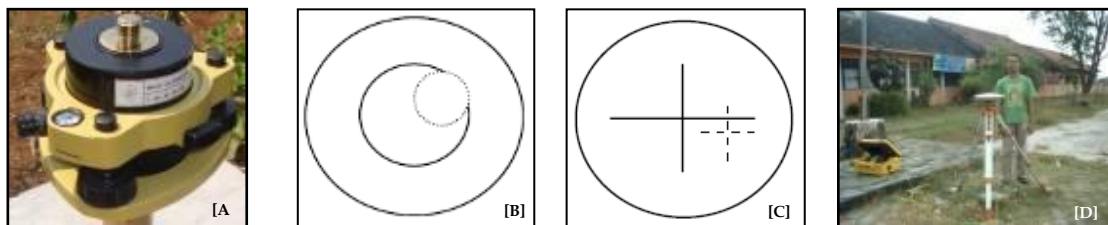
GPS geodetik merupakan salah satu jenis GPS penentu posisi yang memberikan presisi yang paling baik dibandingkan GPS jenis penentu posisi yang lainnya seperti GPS navigasi dan pemetaan. GPS geodetik mempunyai ketelitian hingga millimeter. Selain untuk

pengukuran deformasi, GPS geodetik digunakan juga untuk pengadaan titik-titik kontrol geodesi dan studi geodinamika. Berdasarkan pada jumlah data yang dapat diamati, dikenal tipe geodetik satu frekuensi dan dua frekuensi. Tipe satu frekuensi hanya merekam data *pseudorange* dan fase dari sinyal L1, sedangkan tipe dua frekuensi, seperti yang digunakan pada kegiatan ini, juga merekam data dari sinyal L2 [8].

Konektivitas antara *receiver*, *battery* dan *controller* digambarkan secara sederhana pada Gambar 3b. Konsumsi listrik dari GPS adalah berjenis DC, dan tidak dapat menggunakan listrik langsung dari sumber AC, sehingga disarankan agar selalu mengisi penuh *internal* dan *external battery* setelah selesai dilakukan pengukuran, serta selalu menggunakan *external battery* pada setiap pengukuran, terutama pada lokasi BM yang jauh dari sumber listrik.

2.5.3. BM Standar

BM standar terdiri dari peralatan standar pabrikan dari GPS trimble geodetik berupa *tribrach* (Gambar 4a), yang berfungsi sebagai dudukan dari antena. Pada *tribrach* juga terdapat *nuovo* (Gambar 4b) yang berguna sebagai indikator kemiringan dari alat terhadap permukaan tanah (*leveling*). *Tribrach* juga dilengkapi dengan *magnifier* yang dilengkapi dengan *cross hair* (Gambar 4c), fungsinya untuk memposisikan alat pada posisi yang tepat di atas titik yang diinginkan (*centering*). Kesalahan pada *leveling* dan *centering* akan berpengaruh pada akurasi data hasil dari pengukuran.



Gambar 4. (a). *Tribrach*, (b) *Nuovo*, (c) *Cross hair*, (d) *Tripod*.

Peralatan standar lainnya adalah tripod (Gambar 4d) yang berfungsi sebagai penunpu dari *tribrach* dan antena. *Tripod* juga dapat berguna sebagai alat pengatur tambahan saat melakukan *centering* dan *leveling*, serta sebagai pemberi informasi terhadap tinggi antena.

2.5.4. BM yang sudah dimodifikasi

Berdasarkan hasil pengukuran di tahun 2010 diperoleh *raw data* dengan nilai RMS (*root mean square*) yang besar, yang berarti mempunyai nilai akurasi yang rendah. Untuk mengurangi kesalahan, baik yang berasal dari alat maupun dari operator yang bekerja di lapangan, dilakukan modifikasi pada metode dan alat penunjang pengukuran. Tahun 2011 dilakukan beberapa modifikasi pada BM dengan pembuatan *screw* tanam beserta tutupnya (Gambar 5a) yang digunakan sebagai dudukan *tribrach* (Gambar 5b), modifikasi *tribrach* (Gambar 5c), dan pembuatan pilar (Gambar 5d).



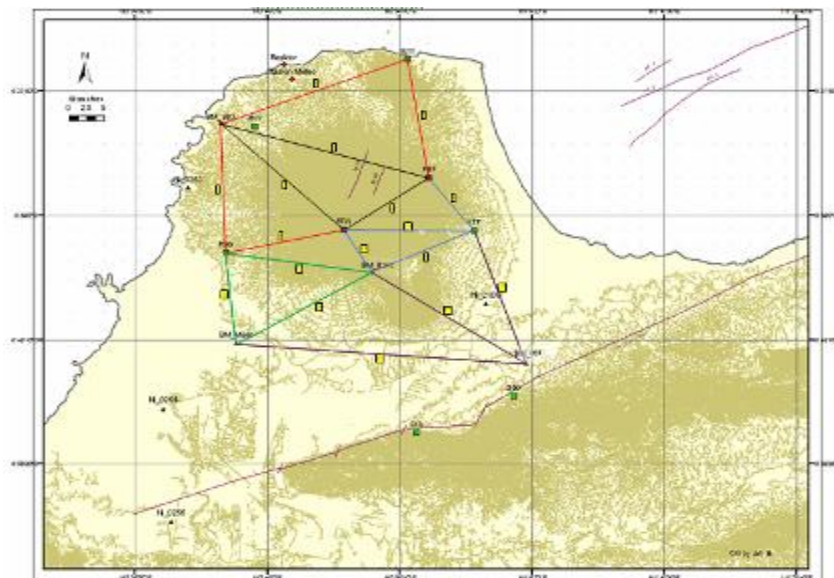
Gambar 5 (a). *Screw tanam*, (b) *Dudukan tribrach*, (c) *Tribrach*, (d) *Pilar pengganti tripod*.

Pada Gambar 5d ditunjukkan hasil modifikasi BM, yang ditinggikan dari 50 cm menjadi 150 cm. Hal ini dimaksudkan selain sebagai pengganti *tripod* juga berguna sebagai dudukan dari *screw*. Pilar yang tinggi juga akan memperbesar tangkapan antenna terhadap satelit. Berdasarkan pengukuran di tahun 2010, *tripod* berpotensi untuk menimbulkan beberapa kesalahan, yang disebabkan oleh ketidakteelitian pada saat melakukan *centering* dan *leveling*. *Tripod* juga beresiko menimbulkan kegagalan dalam pengukuran karena dapat jatuh terkena angin, hujan, atau dilanggar oleh hewan. Pada Gambar 5b ditunjukkan *tribrach* yang akan dipasang pada *screw*, alat *tribrach* ini berfungsi sebagai dudukan antenna, dan setelah digunakan dapat di lepas dari *screw*.

Pada *tribrach* terdapat 3 buah baut yang digunakan sebagai alat *leveling*. Antena dari GPS diletakkan pada *screw* yang terdapat pada bagian atas dari *tribrach* (Gambar 5c). Dari modifikasi BM ini diperoleh beberapa keunggulan yaitu meningkatkan keakurasian data, memperkecil kesalahan baca pada operator, mencegah kegagalan pengukuran, dan mempersingkat waktu pemasangan alat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampai dengan akhir tahun 2011 telah berhasil dibangun 9 buah BM, 5 diantaranya, yaitu BM RTW, PDP, RGG, KTP, UJW, terletak di dekat alat seismograf milik BATAN, sedangkan 4 BM yang lain berlokasi ditempat umum seperti mesjid dan sekolah. Penempatan dari sebagian BM yang berdekatan dengan alat seismograf didasari ide bahwa posisi seismograf tersebut merupakan posisi yang sensitif terhadap gerakan magma, yang dapat diasumsikan juga sensitif terhadap pergeseran deformasi, dan juga akan memudahkan pengawasan, keamanan, dan perawatan dari BM (Gambar 6). Sedangkan penempatan BM di lokasi umum didasari atas pertimbangan akan memberikan kemudahan dalam memperoleh perizinan bila dibandingkan dengan penempatan BM di lokasi pribadi.



Gambar 6. Posisi BM untuk monitoring deformasi Muria^[1].

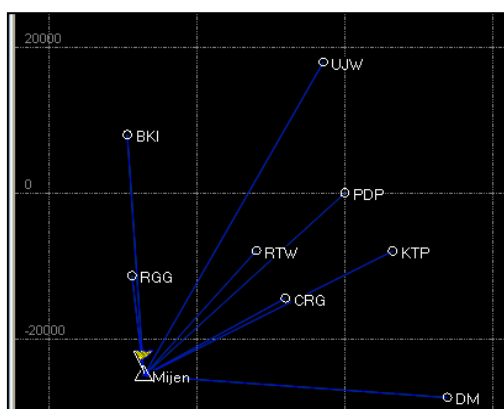
Distribusi posisi BM dengan formasi melingkari Gunung didasarkan atas kegunaannya yang bertujuan untuk memonitor deformasi yang disebabkan oleh aktivitas magma Gunung berapi. Delapan dari BM berfungsi sebagai titik koordinat yang akan dipantau pergerakan deformasinya terhadap sebuah titik referensi, yaitu BM-Mijen. Lokasi

dari titik referensi ditentukan atas dasar bahwa lokasi tersebut dianggap stabil, karena terletak diluar komplek dari Gunung Muria.

Hasil pengamatan GPS di Gunung Muria diolah dengan menggunakan perangkat lunak TBC (*Trimble Business Center*), yaitu *software* yang difasilitasi oleh Trimble, sebagai produsen dari alat yang digunakan. Sebelum dilakukan proses pengolahan data, *raw data* yang telah diakuisi oleh *GPS receiver* didownload dan dikonversi terlebih dahulu dari format dengan ekstensi *.To menjadi *.DAT, atau dikonversi menjadi format RINEX (format untuk global GPS) sehingga dapat diolah dengan perangkat lunak lain seperti *Bernese* dan *Gamit*. Tahapan dari *post processing* dengan menggunakan TBC terdiri dari proses *download*, *baseline processing*, *network adjustment* dan *report*.

3.1. Hasil akuisisi data menggunakan BM standar

Pada bulan April dan Mei, Juni, serta Juli tahun 2011 telah dilakukan pengukuran deformasi secara radial - episodik selama 4 kali. Pengukuran dilakukan selama 10 jam per sesi dengan metode radial di BM BKI, UJW, PDP, RTW, RGG, KTP, CRG, DM dan 1 titik referensi bernama BM Mijen.



Gambar 7. Proses *baseline*.

Pada Gambar 7 ditampilkan hasil dari proses *baseline* dengan menggunakan metode radial. Kelebihan dari metode ini terletak pada kepraktisannya dalam melakukan mobilisasi, sehingga tidak diperlukan waktu dan biaya yang besar dalam pengukurannya. Terdapat 8 buah titik interes, yang diwakili oleh lingkaran dan sebuah titik referensi yang diwakili oleh segitiga. Titik interes bernama BKI, RGG, UJW, RTW, PDP, KTP, CRG, dan DM tersebar di Kabupaten Pati, Jepara dan Kudus. Titik referensi bernama Mijen, merupakan titik yang dianggap diam, terletak di Kabupaten Demak. Karena titik referensi ini belum ber-orde 0, maka harus dikoneksikan ke dalam jaringan global ber-orde 0 milik BAKOSURTANAL (Badan Kordinasi Survei dan Pemetaan Nasional).

Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa keakurasian horizontal dari pengukuran berkisar antara 4 - 7 mm, sedangkan keakurasian vertikalnya adalah 16 - 28 mm.

3.2. Hasil akuisisi data menggunakan BM yang sudah dimodifikasi

Pada Bulan November tahun 2011 juga telah dilakukan pengukuran deformasi dengan metode radial serentak. Pengukuran dilakukan di setiap sesi selam 11 jam pada 6 titik interes yaitu BM_BKI, PDP, RTW, RGG, KTP, CRG dan 1 titik referensi yang sama. Pada pengukuran kali ini digunakan BM yang sudah dimodifikasi.

Tabel 1. Hasil proses dengan BM standar

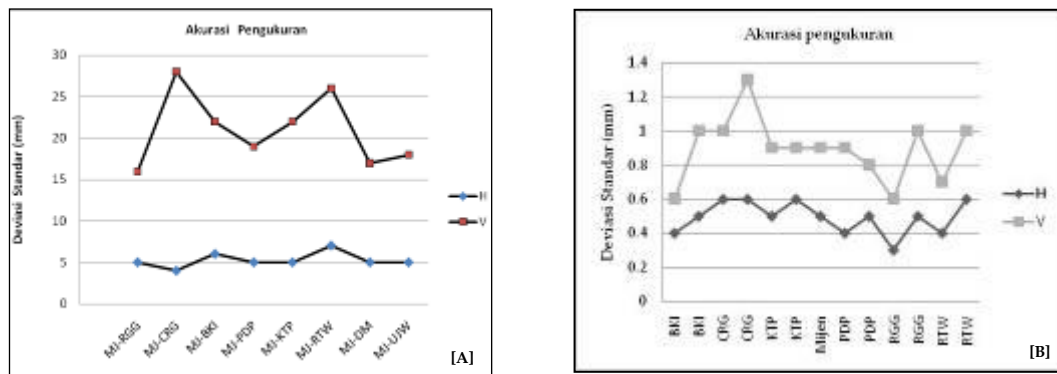
Dari	Ke	Tipe Solusi	Presisi Hor. (m)	Presisi Ver. (m)
BM_Mljen	BM_RGG	Fixed	0.005	0.016
BM_Mljen	BM_CRG	Fixed	0.004	0.028
BM_Mljen	BM_BKI	Fixed	0.006	0.022
BM_Mljen	BM_PDP	Fixed	0.005	0.019
BM_Mljen	BM_KTP	Fixed	0.005	0.022
BM_Mljen	BM_RTW	Fixed	0.007	0.026
BM_Mljen	BM_DM	Fixed	0.005	0.018
BM_Mljen	BM_UJW	Fixed	0.005	0.017

Tabel 2. Hasil proses dengan BM yang dimodifikasi

BM	Lintang	Bujur	Tinggi Elipsoid (m)	Std.		Std. Tinggi Elipsoid (m)
				Lintang (m)	Std. Bujur (m)	
BKI	6° 30' 31.41519" S	110° 42' 27.52226" E	43.5875	0.0004	0.0006	0.0009
BKI	6° 30' 31.41506" S	110° 42' 27.52155" E	43.6301	0.0005	0.001	0.0013
CRG	6° 42' 41.09872" S	110° 54' 03.37933" E	267.3018	0.0006	0.001	0.0015
CRG	6° 42' 41.09873" S	110° 54' 03.37950" E	267.3234	0.0006	0.0013	0.0015
KTP	6° 39' 10.57578" S	111° 01' 55.94131" E	105.151	0.0005	0.0009	0.0011
KTP	6° 39' 10.57569" S	111° 01' 55.94139" E	105.1843	0.0006	0.0009	0.0013
Mijen	6° 48' 26.70246" S	110° 43' 39.19528" E	31.4303	0.0005	0.0009	0.0013
PDP	6° 34' 51.79386" S	110° 58' 25.01075" E	242.6818	0.0004	0.0009	0.001
PDP	6° 34' 51.79390" S	110° 58' 25.01081" E	242.7043	0.0005	0.0008	0.0011
RGG	6° 41' 00.93259" S	110° 42' 47.81873" E	47.5343	0.0003	0.0006	0.0009
RGG	6° 41' 00.93248" S	110° 42' 47.81855" E	47.5625	0.0005	0.001	0.0013
RTW	6° 39' 09.24221" S	110° 51' 55.45988" E	508.6029	0.0004	0.0007	0.001
RTW	6° 39' 09.24209" S	110° 51' 55.45981" E	508.5892	0.0006	0.001	0.0014

Dari Tabel 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil pengukuran dengan BM yang sudah dimodifikasi menghasilkan keakurasian horisontal berkisar dalam rentang 0,3 - 0,6 mm, dan keakurasian vertikal dalam rentang 0,6 - 1,3 mm.

Lebih lanjut, pada Gambar 8a dan 8b ditunjukkan perbandingan nilai akurasi antara horisontal dan vertikal secara visual.



Gambar 8. (a) Akurasi dengan BM standar, (b) Akurasi dengan BM yang dimodifikasi.

Berdasarkan kurva deviasi standar dapat diperoleh gambaran bahwa akurasi dari pengukuran posisi horisontal lebih baik bila dibandingkan dengan akurasi vertikal.

4. KESIMPULAN

Pada tahun 2011 telah dilakukan 2 sesi pengukuran deformasi menggunakan metode radial. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 2 receiver GPS tipe geodetik. Pengukuran pada sesi pertama digunakan BM standar, sedangkan pengukuran pada sesi kedua digunakan BM yang sudah dimodifikasi. BM yang dimodifikasi adalah peralatan penunjang pengukuran yaitu *tribrach* dan *tripod*. Modifikasi dilakukan karena berdasarkan *raw data* yang diperoleh pada pengukuran sesi pertama diperoleh data dengan nilai akurasi yang rendah, yang disebabkan oleh kesalahan operator ketika melakukan *centering* dan *leveling*.

Berdasarkan data hasil pengukuran pada sesi pertama diperoleh kesimpulan bahwa keakurasiannya horisontalnya berkisar 4 - 7 mm dan keakurasiannya vertikalnya adalah 16 - 28 mm, sedangkan pengukuran pada sesi kedua menghasilkan akurasi horisontal dan vertikal berkisar 0,3 - 0,6 mm dan 0,6 - 1,3 mm. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa

keakurasian pengukuran dengan BM yang sudah dimodifikasi menghasilkan nilai akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan dengan BM standar. Pengukuran deformasi penting dilakukan untuk memberikan data tentang perubahan deformasi akibat adanya aktivitas vulkanik dari Gunung Muria dan bahayanya terhadap keselamatan bangunan PLTN.

Kedua pengukuran ini tidak dilakukan secara sepadan, karena dilakukan pada kala waktu yang berbeda dan dengan *software* pengolah data yang berbeda. Namun demikian, hasil kajian dapat digunakan sebagai masukan dan bahan pertimbangan awal dalam melakukan pengukuran deformasi selanjutnya, terutama dalam hal ketelitian data hasil pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada rekan-rekan baik di Bidang Pengkajian Kelayakan Tapak PLTN di Jakarta maupun di Unit Pemantauan Data Tapak dan Lingkungan PLTN di Jepara, atas kerjasama yang telah diberikan dari awal sampai dengan akhir dari kegiatan sehingga terlaksana kegiatan pengukuran deformasi di Muria.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. NUGROHO, A., dkk., "Laporan Teknis Pengukuran Deformasi Muria", BATAN, Jakarta, 2010.
- [2]. NUGROHO, A., SUNTOKO, HADI., "The Effect of Time Duration In The Network And Radial Method Toward The Accuracy In Measuring The Deformation At Muria", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Volume 13, No. 2, Desember 2011, ISSN 1410-9816.
- [3]. ABIDIN, HASANUDDIN, Z., "Penentuan Posisi Dengan GPS Dan Aplikasinya", PT. Pradnya Paramita, Cetakan Ketiga, Jakarta, 2006.
- [4]. KUANG, S., "Geodetic Network Analysis and Optimal Design : Concept and Applications", Ann Arbor Press Inc., Chelsea, Michigan, 1996.
- [5]. _____, "Jaring Kontrol Horizontal, Standard Nasional Indonesia SNI 19-6724-2002", Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2002.
- [6]. _____, "Pengukuran Global Positioning System Untuk Pemantauan Deformasi Gunung Muria Dalam Rangka Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.
- [7]. ABIDIN, HASANUDDIN, Z., "Modul 7 Pendahuluan Metode Survey GPS", Jakarta, 2007.
- [8]. _____, "Petunjuk Singkat Pengoperasian Trimble R7 GNSS", PT Hydronav Teknikatama, Jakarta, 2008.