

PEMODELAN KONDISI BANGUNAN CANDI BOROBUDUR PASCA ERUPSI MERAPI DENGAN UAV-BASED FOTOGRAMETRI

Oleh:

Ruli Andaru, ST, M.Eng¹, Dr. Catur Aries Rokhmana, ST, MT²

*Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana Volume 3 Nomor 2, Tahun 2012,
hal 105-112, 6 gambar.*

Abstract

Borobudur Temple is one of the areas affected by volcanic ash from Merapi eruption. In some places, the thickness of the ash reached 5cm. Cleanup activities conducted by Borobudur Heritage Conservation Center (BKPB) to ensure the building of the temple clean from volcanic ash. Acidic volcanic ash would have a negative impact on the surface of the temple stones that cause brittleness, scrape the walls of the temple reliefs and statues detail. Ministries of education and culture estimate takes 2 to 3 years for the restoration and revitalization of post-eruption of the temple. For this purpose, BKPB requires monitoring and updating the current state of the surface of the temple regularly and periodically, to monitor surface condition of the temple. One method of monitoring and updating is using a low-cost aerial photography with a vehicle UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Mapping with UAV technology has several advantages, including operations easily, fast ini data acquisition, efficient, and produce high resolution aerial photographs.

For the purposes of monitoring Borobudur temple which has a large and high dimensional, required model / type of UAV is appropriate. This study will assess the application of unmanned vehicle (UAV) model Quadcopter for monitoring and updating activities. The developed method is image-based modeling based on photogrammetry. Quadcopter have an advantage capable of flying in all directions, on the air without foundation and move vertically and horizontally. With the ability autonomouse, the plane moves to keep his balance itself so easy to operate and can fly reach out to various corners of the object. UAV capability is the perfect type for purposes of monitoring and updating the Borobudur Temple.

The use of UAV technology with Quadcopter is capable to producing images with a resolution of 10-30cm. For the entire temple area, produced 4-6 images that overlaping each other. The results of the 3D visualization is able to modelling the current state of the rock surface with major advantages that cover the entire area of the temple and provide a high level of detail, especially for the details of the temple top and the corners of the temple so that the surface condition of the stone temples can be easily identification.

Keywords: UAV (Unmanned Aerial Vehicle), photogrammetry, modelling conditions

^{1,2} Penulis adalah Dosen pada Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik UGM.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pasca letusan Merapi, Oktober 2010, Kawasan Borobudur termasuk wilayah yang parah terkena guyuran hujan abu vulkanik. Melihat kondisi ini, Balai Konservasi Peninggalan Borobudur (BKPB) sebagai institusi yang bertanggung jawab langsung atas kelestarian Candi Borobudur mengambil langkah-langkah penanganan.

Untuk keperluan ini, pihak BKPB memerlukan pemodelan kondisi bangunan candi guna monitoring dan updating secara berkala, bahkan sampai level mingguan untuk memudahkan identifikasi tingkat kerusakan permukaan batu-batu candi. Salah satu metode monitoring dan updating berbiaya rendah adalah dengan melakukan pemotretan udara menggunakan wahana UAV (Unmanned Aerial Vehicle)-based fotogrametri. Hakekat dari sistem ini adalah penggunaan suatu wahana udara (model aeromodelling) sebagai platform pembawa kamera digital (sensor pencitraan) untuk melakukan pekerjaan pemotretan dari udara pada posisi eksposur yang telah direncanakan (jalur terbang). Selanjutnya dari foto udara tersebut dapat diproses secara fotogrametrik menjadi data spasial seperti citra ortofoto, data elevasi digital, pengukuran bentuk dan dimensi, dan lain-lain. Pemetaan dengan teknologi UAV memiliki beberapa kelebihan, antara lain kemudahan dalam operasional lapangan, akuisisi data yang cepat dan efisien, serta hasil foto udara resolusi tinggi.

Untuk keperluan monitoring Candi Borobudur yang mempunyai dimensi besar dan tinggi, diperlukan model/jenis.

UAV yang tepat, penelitian ini akan mengkaji aplikasi wahana pesawat tanpa awak (UAV) model Quadcopter untuk kegiatan monitoring dan updating. Metode yang dikembangkan adalah metode image-based modeling berbasis photogrammetry. UAV jenis Quadcopter memiliki kelebihan mampu terbang ke segala arah, mengudara tanpa landasan dan bergerak secara vertikal dan

horizontal dengan sangat smooth. Dengan kemampuan autonouse, pesawat bergerak menjaga keseimbangannya sendiri sehingga mudah dioperasikan baik untuk moving, mulai terbang (*take off*) sampai dengan pendaratan. Kemampuan moving yang smooth dan bisa terbang menjangkau ke berbagai sudut obyek menjadikan wahana UAV jenis ini sangat tepat untuk keperluan pemodelan kondisi terkini permukaan batuan candi dimana mempunyai struktur bangunan yang bertingkat dan kompleks.

Saurbier, M 2010 dalam penelitiannya mengaplikasikan UAV untuk dokumentasi pemugaran bangunan arkeologi di Peru dan Maya site Honduras. Kelebihan UAV adalah waktu akuisisi data lapangan yang relatif singkat, dan terbukti mampu menggantikan pengukuran tradisional dengan meteran ataupun metode tachymeter. UAV yang digunakan adalah jenis Surveycopter 1B dengan 2 buah engine dan jenis Quadcopter MD 4-100. Sensor kamera yang digunakan adalah Panasonic Lumix FX35 dengan resolusi spasial 2-3cm. Proses akuisisi data dimulai dengan merencanakan jalur terbang yang dikontrol secara real time berdasarkan posisi GPS. *Model surface digital (DSM)* diproduksi pada resolusi spasial 2cm. Foto udara yang dihasilkan mampu untuk memproduksi orthophoto dengan footprint sampai 0,8cm.

Patias, P 2009, melakukan penelitian tentang dokumentasi fotogrametri di Keros Island, Cylades. Fokus penelitian adalah pada usability UAV untuk memproduksi orthoimage resolusi tinggi, interpretasi obyek, deteksi dan pengukuran feature arkeologi serta produksi DTM (Digital Terrain Model). Model UAV yang digunakan adalah RC-Helicopter dengan sensor kamera 10 Mpixel Canon EOS D400. Kontrol manuver UAV dilakukan melalui RF transmitter menggunakan video yang dipasang pada badan pesawat. Hasil pemotretan udara dengan UAV ini mampu untuk memproduksi skala 1;500.

Dari beberapa tinjauan pustaka diatas, bisa disimpulkan bahwa UAV terbukti bisa diaplikasikan untuk bidang arkeologi, utamanya

untuk monitoring dan dokumentasi bangunan arkeologi. Bertolak dari hasil penelitian sebelumnya, penulis berpendapat bahwa aplikasi UAV sangat tepat digunakan untuk pemodelan kondisi bangunan candi Borobudur pasca erupsi Merapi. Hal ini diperkuat dengan kebutuhan BKPb dalam kerangka pemulihan dan revitalisasi Candi Borobudur dimana memerlukan proses monitoring dan updating kondisi permukaan candi secara rutin dan berkala.

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Pemodelan kondisi bangunan Candi Borobudur pasca erupsi Merapi guna monitoring kerusakan permukaan candi menggunakan teknologi *UAV-based* fotogrametri
2. Mengkaji *usabilitas* hasil pemodelan teknologi UAV bagi BKPb dalam kerangka pemulihan dan revitalisasi kompleks candi Borobudur pasca erupsi Merapi.

2. METODOLOGI

2.1. Landasan Teori

2.1.1. UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

UAV terkadang disebut sebagai "*Remotely Piloted Vehicle*" atau dengan kata lain, pesawat terbang tanpa awak. UAV mampu membawa kamera, sensor, alat komunikasi dan beberapa peralatan lain yang berfungsi untuk penginderaan jauh, mencakup sensor spektrum elektromagnetik, sensor biologis, dan sensor kimia serta untuk kegiatan *intelligence*, *surveillance*, dan *reconnaissance* (ISR). Sistem UAV-based fotogrametri memiliki kemampuan produksi yang hampir sama dengan penggunaan citra foto udara standar. Perbedaannya terletak pada kemampuan cakupan volume luas wilayah yang terbatas. Batasan cakupan wilayah sesuai dengan

kemampuan jangkauan sistem kendali jarak jauhnya yang umumnya < 3km (Rokhmana, 2010)

Penelitian ini akan menggunakan UAV jenis quadcopter, juga disebut quadricopters atau quadrotors. Quadcopter merupakan pesawat eoromodelling jenis helikopter berkerangka besi yang ditopang dengan empat cabang baling-baling (gambar 1).



Gambar 1. UAV Quadcopter

Kelebihan utama Quadcopter adalah mampu terbang ke segala arah, mengudara tanpa landasan dan bergerak secara vertikal dan horizontal dengan sangat smooth. Dengan kemampuan autoumouise, pesawat bergerak menjaga keseimbangannya sendiri sehingga mudah dioperasikan baik untuk moving, mulai terbang (take off) sampai dengan pendaratan. Kemampuan moving sangat smooth dan bisa terbang menjangkau ke berbagai sudut obyek, atau bahkan diam diatas obyek tertentu.

2.1.2. Instrumentasi Sistem Pemotretan Udara

Sistem pemotretan udara terdiri dari dua bagian, yaitu sistem pada pesawat RC dan sistem pada ground station. Sistem pada pesawat RC antara lain berupa perangkat bantu navigasi dan perangkat pemotretan udara. Instalasi perangkat yang digunakan dalam pemotretan udara pada pesawat RC bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Instrumentasi pemotretan UAV

2.1.3. Fotogrametri

Fotogrametri merupakan seni, ilmu, dan teknologi perolehan informasi tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan penafsiran foto udara (Thomson dan Gruner, 1980). Istilah Fotogrametri berasal dari kata photos (=sinar), gramma (=sesuatu yang tergambar) dan metron (=mengukur). Secara sederhana maka fotogrametri dapat diartikan sebagai “pengukuran secara grafis dengan menggunakan sinar”. Dari definisi tersebut dapat dimengerti bahwa fotogrametri meliputi (Wolf, 1983) :

- Perekaman obyek (pemotretan)
- Pengukuran gambar obyek pada foto udara
- Pemotretan hasil ukuran untuk dijadikan bentuk yang bermanfaat (Peta).

Dari pemotretan udara diperoleh data berupa foto udara. Beberapa foto yang bertampalan bisa diproses lebih lanjut menghasilkan sebuah model tiga dimensi, yaitu sekumpulan titik-titik tiga dimensi (X,Y, Z) yang dapat merepresentasikan suatu obyek. Foto-foto ini kemudian diorientasikan satu dengan yang lainnya, sehingga model 3D bisa dibentuk pada areal yang saling bertampalan.

2.1.4. Pemodelan obyek

Pemodelan suatu obyek bisa divisualkan dalam 2 dimensi maupun 3 dimensi. Obyek tiga dimensi (3D) merupakan suatu obyek yang direpresentasikan dengan ukuran panjang, lebar, dan tinggi. Data obyek tiga dimensi secara spasial umumnya diperoleh dari suatu teknik pengukuran dengan menggunakan peralatan dalam pekerjaan pemetaan, yang di dalamnya terdapat titik-titik detail yang terdefinisi dalam sistem koordinat. Data tiga dimensi sangat membantu untuk memodelkan obyek-obyek yang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi karena apabila direpresentasikan dalam bentuk dua dimensi (2D) maka obyek tersebut akan mengalami banyak kehilangan informasi. Salah satu metode untuk pemodelan 3D adalah dengan metode image based modelling (IBM). Metode IBM menggunakan teknik fotogrametri jarak dekat dimana obyek difoto pada arah yang berbeda dan saling bertampalan. Foto-foto ini kemudian diorientasikan satu dengan yang lainnya, sehingga model 3D bisa dibentuk pada areal yang saling bertampalan. IBM banyak digunakan untuk pembentukan geometric surface pada obyek arsitektural atau pemodelan kota (Romendino, 2006). Metode passive IBM memperoleh ukuran 3D dari satu atau beberapa station pemotretan menggunakan model projective geometry atau perspektif kamera. Metode ini sangat efektif dan berbiaya rendah. Secara umum modelling dilakukan melalui 3 tahap utama; (1) Pemotretan. (2) Penentuan orientasi dalam dan orientasi luar pada masing-masing foto (3) referencing feature interest pada foto dan penentuan koordinat untuk titik-titik yang diukur.

2.2. Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dipergunakan pada penelitian ini adalah:

1. Pesawat UAV jenis Quadcopter
2. Kamera LUMIX Panasonic sebagai sensor
3. FMA Co-Pilot II, stabilizer pergerakan wahana

4. OSD pro dan eLogger (*Eagle tree flight system*) perangkat navigasi berdasar pengamatan GPS
5. Batrai Lithium Polimer 11,1 Volt 3000 MA, sebagai sumber tenaga pesawat
6. Seperangkat laptop dengan spesifikasi prosesor Intel Centrino Core 2 duo T5670, memori 2 GB dan kapasitas penyimpanan 120 GB.
7. Remote control Futaba, untuk pengendalian pesawat

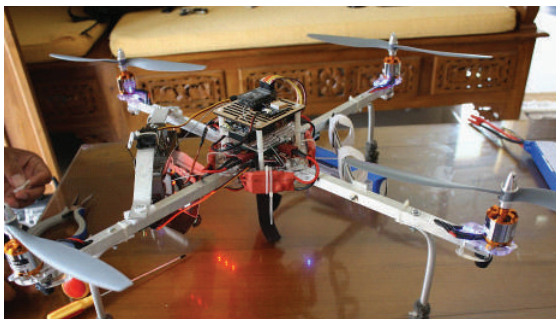
2.3. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu 6 bulan (Maret – Agustus 2010) dengan lokasi penelitian adalah kompleks candi Borobudur, Magelang, Jawa Tengah.

2.4. Cara penelitian

2.4.1. Perakitan Wahana Quadcopter

Sebelum pekerjaan lapangan dimulai, tahapan awal adalah perakitan wahana UAV Quadcopter. Perakitan wahana terdiri atas beberapa tahapan penyediaan bahan/spare part, perakitan, pemrograman, uji sensor dan test flight. Bahan/spare part sebagian besar diimport dari luar negeri, sedangkan untuk bahan lokal dikhususkan untuk kerangka dan sistem landing. Quadcopter mempunyai ukuran dan dimensi yang khusus sehingga proses perakitan dan penyediaan bahan harus sesuai dengan spesifikasi.



Gambar 3. Perakitan Wahana Quadcopter

Setelah proses perakitan selesai, dilakukan tahapan pemrograman, yaitu untuk mengkoneksikan sensor-sensor yang ada dan untuk mengkalibrasi sistem *gyro* (keseimbangan) pada wahana. Tahapan *test flight* biasanya tidak menemui kendala, sepanjang spesifikasi dan pemrograman dilakukan dengan benar. Tahapan yang paling sulit adalah pada uji sensor (kamera) dimana secara umum getaran yang dihasilkan dari baling-baling sangat mempengaruhi hasil foto, sehingga perlu di design agar efek getaran bisa diminimalkan.

2.4.2. Survei pendahuluan

Survei pendahuluan adalah pekerjaan awal sebelum dilakukan pemotretan dengan tujuan untuk mengetahui lokasi obyek yang akan diukur dan kondisi di sekitarnya. Dalam melakukan survei pendahuluan dibuat sket awal yang merupakan gambaran dari lokasi objek dan kondisi daerah di sekitarnya yang merupakan hasil dari pengamatan sementara. Dari hasil survei ini dapat ditentukan perlengkapan pendukung selain alat ukur utama yang dibawa, yaitu estimasi waktu, jumlah personil, dan peralatan pendukung yang akan diperlukan selama proses pengambilan data di lapangan.

2.4.3. Perencanaan akuisisi data

Tahapan yang dilakukan sebelum pelaksanaan pemotretan udara menggunakan pesawat UAV antara lain:

1. *Pre flight check*. Pemeriksaan seluruh fungsi komponen pemotretan udara baik di atas pesawat UAV dan perangkat di ground station sebelum digunakan untuk pemotretan udara.
2. Kondisi cuaca. Cuaca pada saat pelaksanaan pemotretan udara sangat berpengaruh terhadap proses akuisisi maupun hasil pemotretan.
3. Perencanaan jalur. Perlu direncanakan jalur arah pergerakan pesawat selama pemotretan sehingga semua obyek kajian bisa *ter-cover* seluruhnya.

Perencanaan jalur ini juga berfungsi untuk menghindari area yang blank (tidak terpotret).

2.4.4. Pemotretan Udara

Pemotretan wilayah candi Borobudur dilakukan pada ketinggian 100-300m. Untuk lokasi/detil candi yang memerlukan tingkat ketajaman tinggi maka pemotretan dilakukan pada ketinggian rendah. UAV jenis Quadcopter memiliki keterbatasan durasi penerbangan (± 15 menit) tergantung kapasitas baterai yang digunakan, sehingga perlu beberapa kali mendarat untuk pergantian baterai. Untuk membentuk model 3D ataupun mozaik foto udara diperlukan foto-foto yang saling overlapping, sehingga perlu untuk memperhatikan prosentase pertampalan antar foto. Pengendalian secara penuh pesawat dalam mengikuti jalur terbang mempunyai kendala yaitu efek perubahan arah angin dan suhu di angkasa terhadap perubahan arah dorongan angin pada pesawat yang sering terlambat diketahui dan diantisipasi melalui pengamatan. Indikator capaian terukurnya adalah kesesuaian arah pergerakan pesawat terhadap rencana jalur terbang yang telah dibuat. Selain itu diperoleh foto yang tajam, tidak kabur dan memenuhi syarat minimal pertampalan (70%).

2.4.5. Pekerjaan Studio

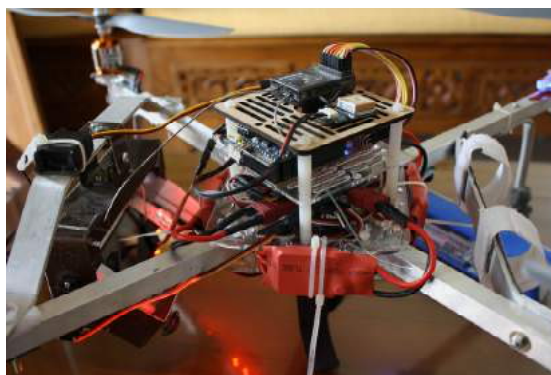
Pekerjaan studio meliputi proses fotogrametri, pemodelan obyek (2D & 3D), dan interpretasi/visualisasi. Model kondisi candi bisa direpresentasikan dalam 3 bentuk model 3D, mozaik foto udara, dan peta foto. Untuk membentuk model 3D dari sumber foto digunakan metode *image based modelling*. Metode ini banyak digunakan untuk pembentukan *geometric surface* pada obyek arsitektural atau pemodelan kota. Untuk aplikasi bidang arkeologi seperti pemodelan permukaan candi, visualisasi model hasil akhir ditampilkan dengan permukaan fotografik sehingga menggambarkan kondisi permukaan

candi sebenarnya. Beberapa rangkaian foto yang saling overlap dilakukan mozaik untuk menggabungkan foto tersebut dalam satu rangkaian. Proses mozaik citra terdiri dari dua teknik yaitu mozaik terkontrol dan mozaik tidak terkontrol. Proses mozaik terkontrol dilakukan dengan melakukan penyamaan koordinat dengan cara *georeferencing* pada setiap lembar citra yang akan dimosaikkan secara otomatis melalui perangkat lunak pengolah citra digital. Hasil mozaik kemudian dibuat peta foto dengan menambahkan unsur-unsur peta sesuai kaidah kartografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Rakitan UAV Quadcopter

Hasil rakitan wahana *Wuadcopter* disajikan pada gambar 11. Jenis sensor yang terpasang ada 4 buah yaitu GPS, magneto, kamera dan sonar. GPS digunakan untuk penentuan posisi wahana diudara, magneto untuk navigasi jalur terbang dan sonar untuk deteksi ketinggian. Menggunakan baterai 3 cell, alat ini mampu mengudara selama 8-10menit dengan ketinggian maksimal 250m. Dengan ukuran propeller 12 x 10, wahana ini mampu membawa bobot 1.5kg (termasuk bobot wahana).



Gambar 4. Hasil rakitan UAV

3.2. Kualitas Foto

Secara umum foto menghasilkan resolusi spasial yang sangat baik, berkisar 10-20 cm

pada tinggi terbang 50-100m. Dengan resolusi ini kondisi batuan candi bisa diinformasikan dengan baik. Untuk area candi Borobudur dengan luasan 100m x 100m, dibutuhkan 4-6 foto yang saling overlap. Dari foto ini dilakukan mozaik sehingga bisa dibentuk peta foto.



Gambar 5. Hasil Pemotretan Udara

3.3. Hasil Model 3D

Model 3D yang terbentuk dapat dilihat melalui 3D viewer, visualisasi yang dihasilkan dari model sudah menyerupai bentuk dari obyek yang sebenarnya. Jika dilihat secara keseluruhan visualisasinya, maka dapat terlihat pada obyek yang berada di bagian bawah terlihat lebih sempurna dibandingkan dengan obyek bagian atas. Hal ini disebabkan pada bagian bawah obyek terlihat sangat jelas dan ukuran obyek yang besar (berupa dasar candi), sedangkan bagian atas obyek candi sangat kompleks dengan ukuran yang sangat kecil dan sangat detil.

Tingkatan efisiensi metode UAV based photogrammetry dalam hal akuisisi data lapangan, pemrosesan data studio, terbukti cukup efektif dan mampu menghasilkan model kondisi batuan dengan baik. Selain wahana yang



Gambar 6. Hasil model 3D

low cost, wahana ini juga relatif mudah dalam pengoperasionalan alat, sehingga UAV based Photogrammetry dengan Wahana Quadcopter merupakan metode terbaik dan efisien untuk pendataan kondisi candi Borobudur.

4. KESIMPULAN & SARAN

1. Dari hasil foto udara yang diperoleh, mampu memberikan informasi spasial yang sangat baik sehingga mampu memberikan informasi kondisi batuan candi dan persebaran kadar abu vulkanik.
2. Model 3D yang dihasilkan mampu memberikan informasi detil yang tinggi, hanya saja karena struktur

candi yang sangat kompleks, beberapa bagian tidak dapat dimodelkan dengan baik.

3. Pengendalian UAV Quadcopter relatif mudah dilakukan dan mampu menghasilkan foto yang detail dan tajam, sehingga UAV model ini sangat cocok digunakan untuk keperluan monitoring berkala di candi Borobudur.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bouadi, H, 2007, "Sliding Mode Control based on Backstepping Approach for an UAV Type-Quadrotor", World Academy of Science, Engineering and Technology 26.
- Patias, P, 2009, "UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas two tests in the Keros Island, Cylades". Journal of Archaeological Science Volume 38, Pages 697-710
- Rokhmana, C.A 2010, "Sistem Pemantauan Tata Ruang Kota dengan Wahana Udara Nirawak sebagai Penyedia Foto Udara Murah", Seminar Nasional Tata Ruang Wilayah, Institut Teknologi Malang
- Rokhmana, C.A. 2007. "The Low-Cost Monitoring System For Landslide and Volcano With Digital Photogrammetry", Proceeding Joint Convention HAGI, IAGI, IATMI
- Sauerbiera, M, 2010, "UAV For The Documentation Of Archaeological Excavations", International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK
- Thompson, and Heinze Gruner 1980, *Foundations of Photogrammetry*. In, Chester C. Slama, Editor in Chief, Manual of. Photogrammetry, Chapter I, P. 5, Falls Church: American Society of Photogrammetry
- Wolf, P.R, 1983, *Elements of Photogrammetry*, 2nd edition, McGraw Hill Book Company, New York

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak LPPM-UGM atas bantuan dana riset, Direktur Tinggalan Purbakala Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata, serta Ir. Marsis Sutopo (BKPB) atas ijin penelitian di Borobudur.