

Pengaruh Panjang Elektrode Sangkar Delta pada Nilai Resistans Pentanahan di Lokasi Sempit

Harnoko Stephanus¹

Abstract—Grounding rod is more practical than grounding plate or grounding strip. Grounding resistance value must be set as small as possible. But, it is hard to approach the standard grounding resistance value. There are some methods used to reduce grounding resistance like paralleling ground rod, extending ground rod, or enlarging ground rod diameter. This paper explains the effect of length variation of delta cage electrode (dimension of delta side is 1 meter) on single ground rod resistance value. In this paper, ground rod's length and diameter are 1.5 meters and 10 millimeters respectively. Ground rod is planted on the ground while the but is on land surface. Grounding resistance value of that single ground rod then is being compared with grounding resistance value of the combination of single ground rod and the delta cage electrode (dimension of delta side is 1 meter). After this research, we can conclude that: (a) delta cage electrode (its side 1 m) with three edge rod (length 0.5 meters, 1 meter and 1.5 meters; diameter 10 millimeters) can minimize grounding resistance value of single ground rod (length 1.5 meters, diameter 10 millimeters) by 33 ohm, 45 ohm, dan 50 ohm; (b) delta cage electrode (its side 1 m) with six edge rod (length 0.5 meters, 1 meter, and 1.5 meters; diameter 10 millimeters) can minimize grounding resistance value of single ground rod (length 1.5 meters, diameter 10 millimeters) by 45 ohms, 52 ohms dan 56 ohms.

Intisari—Resistans pentanahan dengan menggunakan batang pentanah tergantung pada jenis, keadaan tanah, ukuran, dan cara pengaturan elektrode pentanah. Pentanahan dengan menggunakan batang pentanah lebih praktis daripada elektrode berbentuk pelat atau pita. Nilai resistans pentanahan harus sekecil-kecilnya. Nilai resistans pentanahan dapat diperkecil antara lain dengan memparalel batang pentanah, memperpanjang batang pentanah atau memperbesar diameter batang pentanah. Penelitian dilakukan dengan menggunakan elektrode pentanah berbentuk batang silinder pejal dengan panjang 1,5 m dan diameter 10 mm. Batang pentanah tersebut ditanam dalam tanah dengan pangkal batang berada di permukaan tanah, pada satu jenis tanah. Pengukuran nilai resistans pentanahan dilakukan tanpa elektrode sangkar delta dan dengan elektrode sangkar delta. Elektrode sangkar delta disusun dari potongan-potongan batang pentanah dengan panjang 0,50 m, 1 m dan 1,5 m, dengan diameter 10 mm. Penampang elektrode sangkar berbentuk segi tiga sama sisi dengan ukuran sisi 1 m. Elektrode sangkar delta ini diletakkan mengelilingi satu batang pentanah utama. Nilai resistans pentanahan gabungan tersebut hasilnya dibandingkan dengan nilai pengukuran satu batang pentanah utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (a) Elektrode sangkar delta dengan sisi 1 meter, dengan tiga batang penyusun (0,5 m, 1 m dan 1,5 m; diameter 10 mm), ternyata memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah (panjang 1,5 m, diameter 10

mm) sebesar 33 ohm, 45 ohm, dan 50 ohm. (b) Elektrode sangkar delta dengan sisi 1 meter, dengan 6 batang penyusun (diameter 10 mm), ternyata memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah (panjang 1,5 m, diameter 10 mm) sebesar 45 ohms, 52 ohms, dan 56 ohms.

Kata Kunci—pentanahan, batang pentanah, elektrode sangkar delta, resistans pentanahan.

I. PENDAHULUAN

Penelitian mengenai pentanahan sistem tenaga listrik atau instalasi listrik dengan menggunakan batang pentanah di berbagai jenis tanah dengan berbagai ukuran batang pentanah dan dengan kedalaman berbeda-beda, sudah banyak dilakukan. Pentanahan dengan menggunakan batang pentanah pada dasarnya lebih mudah bila dibandingkan dengan menggunakan pelat atau pita pentanah.

Nilai resistans pentanahan harus sekecil-kecilnya agar bila terjadi kebocoran arus ke bagian logam peralatan listrik (yang seharusnya tidak boleh bertegangan), tidak akan membahayakan orang yang tidak sengaja menyentuh bagian logam peralatan itu. Untuk memperoleh resistans pentanahan sekecil-kecilnya, dengan menggunakan batang pentanah, dilakukan dengan cara antara lain sebagai berikut:

- Memperdalam penanaman batang pentanah.
- Memperpanjang batang pentanah.
- Memparalel batang pentanah.

Penanaman batang pentanah secara paralel sering dilakukan bila luas tanahnya mencukupi. Jarak pemasangan paralel antara dua batang pentanah atau lebih, minimal dua kali panjang batang pentanah yang digunakan [1]. Penanaman batang pentanah yang panjang tidak praktis. Batang pentanah yang ditanam sangat dalam juga tidak praktis.

Bila diinginkan nilai resistans pentanahan yang kecil pada instalasi listrik dan lokasinya sempit, seperti pada sistem telekomunikasi yang dapat mencapai 0,06 ohm [2], maka dilakukan cara-cara seperti pada sistem telekomunikasi, yaitu sistem elektrode sangkar. Elektrode sangkar yang digunakan di dalam makalah ini adalah elektrode sangkar delta berukuran sisi 1 m, dengan panjang 0,5 m, 1,0 m, dan 1,5 m.

Dalam makalah ini akan disampaikan hasil penelitian pengaruh pemberian elektrode sangkar delta dengan ukuran sisi 1 m dengan panjang batang penyusun 0,5 m, 1,0 m, dan 1,5 m, pada nilai resistans pentanahan sebuah batang pentanah berukuran panjang 1,5 m dan diameter 10 mm di lokasi sempit.

II. PENTANAHAN

Pentanahan dengan menggunakan satu batang pentanah yang mempunyai panjang L meter, jari-jari a meter, dengan nilai resistans jenis tanah di tempat pengukuran seragam

¹Staf pengajar, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik UGM, Jl. Grafika 2, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281 (telp: 0274-552305; fax: 0274-552305; e-mail: harnoko@ugm.ac.id)

(uniform), nilai resistans pentanahannya adalah sebagai berikut [3].

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left(\frac{4L}{a} - 1 \right) \text{ untuk } L \gg a \quad (1)$$

dengan:

- R = resistans pentanahan (ohm)
- ρ = resistans jenis tanah (ohm-meter)
- L = panjang batang pentanah (meter)
- a = jari-jari batang pentanah (meter)

Resistans pentanahan untuk dua batang pentanah yang dipasang paralel dapat dihitung dengan (2) dan (3) sebagai berikut [3].

a. Untuk $S > L$:

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \right) \quad (2)$$

b. Untuk $S < L$:

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right) \quad (3)$$

dengan:

- R = resistans pentanahan (ohm)
- ρ = resistans jenis tanah (ohm-meter)
- L = panjang batang pentanah (meter)
- S = jarak antar batang pentanah (meter)
- a = radius batang pentanah (meter)

Elektrode sangkar silindris dengan sudut pusat α dan elemen-elemen sangkar dengan panjang L meter dengan ringtas dapat dilihat pada Gbr. 1 dan Gbr. 2. Gbr. 1 untuk pentanahan antena komunikasi [4]. Pentanahan antena komunikasi memerlukan area yang luas dan menggunakan banyak batang pentanah, sehingga diperoleh nilai resistans pentanahan kecil. Gbr. 2 memperlihatkan elektrode sangkar silindris [5]. Elektrode sangkar silindris ini dapat memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah. Gbr. 3 merupakan sistem pentanahan *grid* di gardu induk. Sistem pentanahan *grid* di gardu induk memerlukan daerah yang luas dan banyak batang pentanah untuk memperoleh nilai resistans pentanahan kecil [6]. Gbr. 4 memperlihatkan bentuk elektrode sangkar delta yang digunakan di dalam penelitian.

Bila ditengah-tengah elektrode sangkar dipasang satu batang pentanah, maka nilai resistans pentanahannya adalah sebagai berikut:

$$R_{p \text{ total}} = \frac{R_{es} \times R_{bt}}{R_{es} + R_{bt}} \quad (4)$$

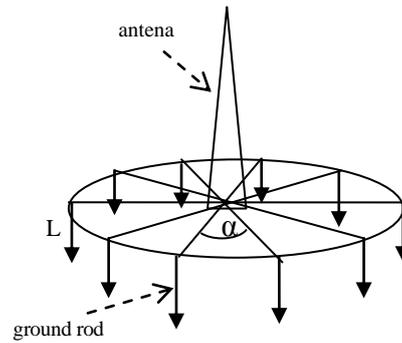
dengan:

- $R_{p \text{ total}}$ = resistans pentanahan total (ohm)
- R_{es} = resistans pentanahan elektrode sangkar delta (ohm)
- R_{bt} = resistans pentanahan 1 batang pentanah (ohm)

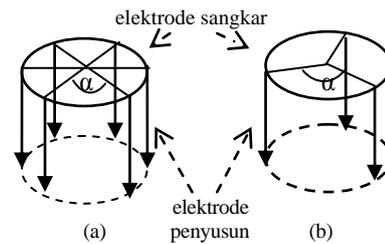
Nilai R_{es} diperoleh secara pendekatan sebesar:

$$R_{es} = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left(\frac{4L}{a} - 1 \right) \text{ untuk } L \gg a \quad (5)$$

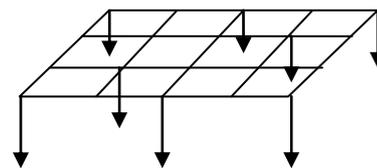
dengan n adalah banyaknya elektrode batang pentanah.



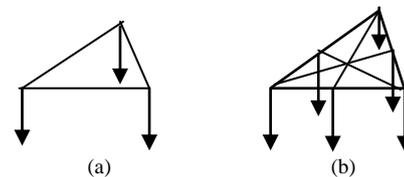
Gbr. 1 Ground-plane antena.



Gbr. 2 Elektrode sangkar silindris; (a) $\alpha = 60^\circ$; (b) $\alpha = 120^\circ$.



Gbr. 3 Sistem pentanahan *grid* di Gardu Induk dengan batang pentanah.



Gbr. 4 Elektrode sangkar delta; (a) 3 batang penyusun; (b) 6 batang penyusun.

Penelitian dilakukan pada tanah kebun di Desa Jembangan, Tirtoadi, Mlati, Kabupaten Sleman, Propinsi DIY. Jenis tanah di lokasi penelitian termasuk tanah ladang basah, sehingga nilai resistans jenis tanah kurang dari 100 ohm-m [7]. Penelitian ini merupakan pengembangan penelitian yang dilakukan Sri Lestari [8]. Penelitiannya menggunakan sangkar delta dengan sisi 1 m, panjang batang penyusun tetap yaitu sebesar 0,5 m dan diameter batang penyusun 12 mm.

III. MATERI DAN METODE

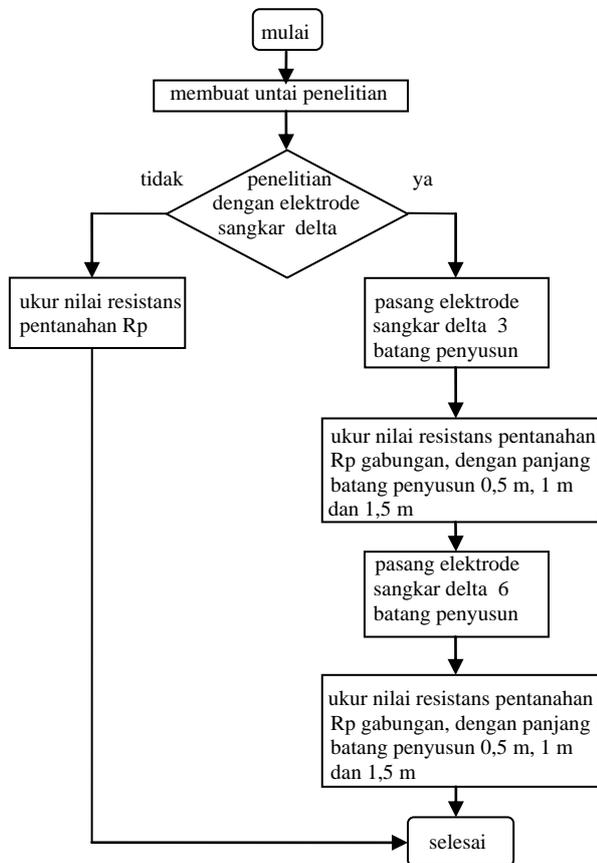
Materi atau bahan yang digunakan yaitu batang pentanah (*ground rod*) dengan ukuran panjang 1,5 m, diameter 10 mm, elektrode sangkar delta dengan sisi 1 m (tiga dan enam batang penyusun dengan panjang 0,5 m, 1,0 m, dan 1,5 m, dan dengan diameter 10 mm) dan kabel-kabel penghubung

pembuat sangkar. Alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistans pentanahan ialah *earth resistance tester* digital. Penelitian dilakukan pada tanah kebun di Desa Jembangan, Tirtoadi, Mlati, Kabupaten Sleman, Propinsi DIY.

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gbr. 5. Pada diagram alir tersebut yang dimaksud resistans pentanahan gabungan adalah resistans pentanahan satu batang pentanah utama dengan resistans pentanahan elektrode sangkar delta dengan sisi 1 m dan panjang batang penyusun 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m.

Skema pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah dapat dilihat pada Gbr. 6. Skema pengukuran resistans pentanahan dua batang pentanah paralel dapat dilihat pada Gbr. 7. Skema pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah digabung dengan elektrode sangkar delta dapat dilihat pada Gbr. 8.

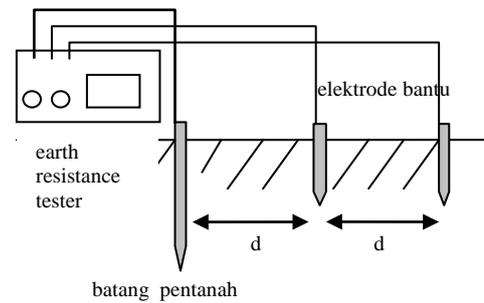
Foto pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah digabung dengan elektrode sangkar delta tiga batang penyusun dan enam batang penyusun dapat dilihat pada Gbr. 9 dan Gbr. 10.



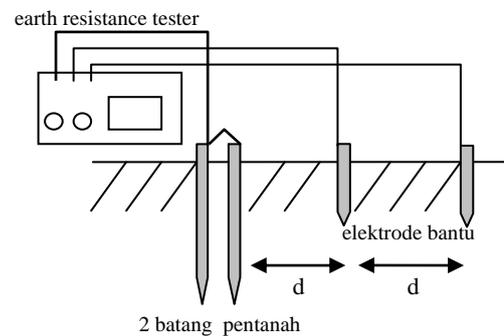
Gbr. 5 Diagram alir penelitian.

Penelitian dilakukan dengan menanam batang pentanah dengan panjang 1,5 meter diameter 10 mm secara tegak lurus dengan terminal atas berada di permukaan tanah. Kemudian diukur nilai resistans pentanahannya. Batang pentanah kedua ditanam paralel dengan batang pentanah pertama berjarak setengah panjang batang (0,75 m). Kemudian diukur nilai resistans pentanahannya. Pengukuran nilai resistans

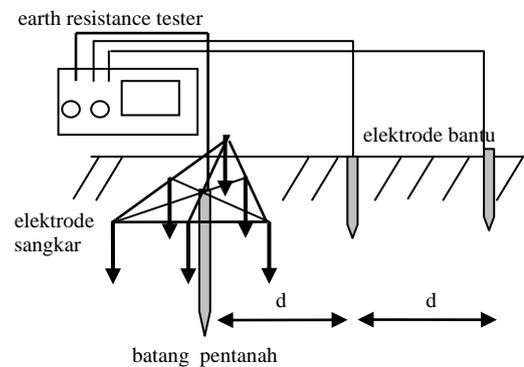
pentanahan dilakukan dengan menggunakan *earth resistans tester* digital. Dilanjutkan pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 m diameter 10 mm digabung dengan elektrode sangkar delta dengan sisi 1 m, tiga batang penyusun dan enam batang penyusun. Panjang setiap batang elektrode sangkar penyusun adalah 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m, berdiameter 10 mm dengan ukuran sisi sangkar delta 1 m.



Gbr. 6 Pengukuran nilai resistans pentanahan satu batang pentanah.



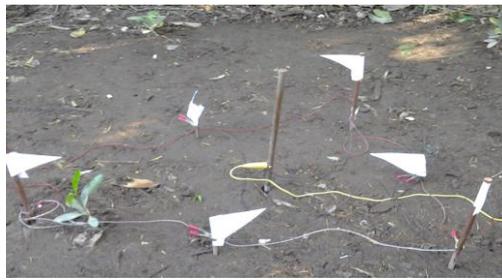
Gbr. 7 Pengukuran nilai resistans pentanahan dua batang pentanah paralel berdekatan.



Gbr. 8 Pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah dengan elektrode sangkar delta enam batang penyusun.



Gbr. 9 Foto pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah dengan elektrode sangkar delta tiga batang penyusun.



Gbr. 10 Foto pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah dengan elektrode sangkar delta enam batang penyusun.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pengaruh elektrode sangkar delta terhadap nilai resistans pentanahan satu batang pentanah dapat dilihat pada Tabel I, Tabel II, dan Tabel III.

TABEL I
NILAI RESISTANS PENTANAHAN (R_p) 1 BATANG PENTANAH TANPA ELEKTRODE SANGKAR

Panjang batang (meter)	Nilai R_p (ohm)		
	Batang A	Batang B	Rerata
1,5	108	108	108

TABEL II
NILAI RESISTANS PENTANAHAN (R_p) 2 BATANG PENTANAH PARALEL TANPA ELEKTRODE SANGKAR

Panjang batang (meter)	Nilai R_p (ohm)	Jarak paralel (meter)
1,5	90	0,75

TABEL III
NILAI RESISTANS PENTANAHAN 1 BATANG PENTANAH 1,5 METER DENGAN ELEKTRODE SANGKAR DELTA

Panjang batang penyusun (m)	Elektrode sangkar delta 3 batang penyusun	Elektrode sangkar delta 6 batang penyusun
0,5	57	45
1,0	45	38
1,5	40	34

Tabel I memperlihatkan nilai resistans penatanahan, R_p , satu batang pentanah 1,5 meter tanpa elektrode sangkar delta. Nilai rerata dari dua batang pentanah yang digunakan sebesar 108 ohm. Tabel II memperlihatkan nilai R_p dua batang pentanah 1,5 meter paralel, dengan jarak paralel 0,75 meter. Untuk jarak paralel 0,75 m nilai R_p nya = 90 ohm. Tabel III memperlihatkan nilai R_p untuk satu batang pentanah dengan panjang batang 1,5 meter yang digabung dengan elektrode sangkar delta tiga batang penyusun dan enam batang penyusun. Sangkar delta berbentuk segitiga sama sisi dengan sisi 1 meter, dengan panjang elektrode penyusun 0,5 meter, 1,0 meter, dan 1,5 meter mengelilingi batang pentanah tadi.

Nilai resistans pentanahan gabungan dengan elektrode sangkar delta dengan tiga batang penyusun 0,5 meter, 1,0 meter, dan 1,5 meter adalah 57 ohm, 45 ohm, dan 40 ohm. Nilai resistans pentanahan gabungan ini lebih kecil daripada nilai resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter (diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 51 ohm, 63 ohm,

dan 68 ohm. Nilai resistans pentanahan gabungan ini juga lebih kecil daripada nilai resistans pentanahan dua batang pentanah 1,5 meter paralel (diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 33 ohm, 45 ohm, dan 50 ohm.

Nilai resistans pentanahan gabungan dengan elektrode sangkar delta dengan enam batang penyusun 0,5 meter, 1,0 meter, dan 1,5 meter adalah 45 ohm, 38 ohm, dan 34 ohm. Nilai resistans pentanahan gabungan ini lebih kecil daripada nilai resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter (diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 63 ohm, 70 ohm, dan 74 ohm. Nilai resistans pentanahan gabungan ini juga lebih kecil daripada nilai resistans pentanahan dua batang pentanah 1,5 meter paralel (diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 45 ohm, 52 ohm, dan 56 ohm.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Elektrode sangkar delta dengan sisi 1 meter, dengan tiga batang penyusun 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m (diameter 10 mm), ternyata memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah (panjang 1,5 m, diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 33 ohm, 45 ohm, dan 50 ohm. Sedangkan elektrode sangkar delta dengan sisi 1 meter, dengan enam batang penyusun 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m (diameter 10 mm), memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah (panjang 1,5 m, diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 45 ohm, 52 ohm, dan 56 ohm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ketua Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi FT UGM, yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melaksanakan penelitian ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada saudara laboran di Laboratorium Teknik Instalasi Listrik, Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi FT UGM yang telah membantu melakukan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Panitia Revisi PUIL, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik Indonesia 2000*, LIPI, Jakarta, 2000.
- [2] F. Haryanto Sumbung, "Perlindungan Terhadap Sambaran Petir Peralatan Listrik dan Telekomunikasi dengan Pentanahan yang Disatukan dengan Menggunakan EMTP", Tesis MSEE, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM, Yogyakarta, 2008.
- [3] T.S. Hutaaruk, *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga dan Pengetahuan Peralatan*, edisi ke 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
- [4] Switzer, *Practical Guide to Electrical Grounding*, ERICO Inc., Ohio, 1999.
- [5] Harnoko Stephanus, *Pengaruh Elektrode Sangkar (Silindris) pada Nilai Resistans Pentanahan 1 Batang Pentanah di Lokasi Sempit*, Laporan Penelitian Hibah JTETI FT UGM, 2013.
- [6] A.S. Pabla, *Electric Power Distribution*, Tata McGraw-Hill Education, New Delhi, 2004.
- [7] K. Pijpaert, "Peraturan Umum untuk Elektrode Bumi dan Penghantar Bumi", *Elektro Indonesia*, No.24, tahun V, Januari, 1999.
- [8] Sri Lestari, *Pengaruh Elektrode Sangkar Delta pada Nilai Resistans Pentanahan 1 Batang Pentanah di Lokasi Sempit*, Laporan Penelitian Diploma Teknik Elektro SV UGM, 2013.