

Pengaruh Perubahan Sisi Elektrode Sangkar Delta pada Nilai Resistans Satu Batang Pentanah

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 side variation of delta cage electrode (dimension of delta length is 1 meter) on single ground rod resistance value. In this research, ground rod's length and diameter are 1.5 meter and 10 millimeter, 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 are 0.5 meter, 1 meter, and 1.5 meter). This research concludes that: (a) Delta cage electrode (its side are 0.5 meter, 1 meter, and 1.5 meter) with three edge rod length 1.5 meter (diameter 10 millimeter) can minimize grounding resistance value of single ground rod (length 1.5 meter, diameter 10 millimeter) by 29 ohm, 33 ohm, and 40 ohm. (b) Delta cage electrode (its side are 0.5 meter, 1 meter, and 1.5 meter) with six edge rod length 1.5 meter (diameter 10 millimeter) can minimize grounding resistance value of single ground rod (length 1.5 meter, diameter 10 millimeter) by 34 ohm, 37 ohm, and 43 ohm.

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 meter dan diameter 10 milimeter. 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 (tiga dan enam batang penyusun) disusun dari potongan-potongan batang pentanah 1,5 meter berdiameter 10 milimeter. Penampang elektrode sangkar berbentuk segitiga sama sisi dengan ukuran sisi delta 0,50 meter, 1 meter, dan 1,5 meter. Elektrode sangkar delta tersebut diletakkan mengelilingi satu batang pentanah utama. Nilai resistans pentanahan gabungan tersebut hasilnya dibandingkan dengan nilai pengukuran satu batang pentanah utama. Hasil menunjukkan bahwa: (a) Elektrode sangkar delta dengan sisi 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter, dengan tiga batang penyusun 1,5 meter (diameter 10

milimeter), ternyata memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah (panjang 1,5 meter, diameter 10 milimeter) dengan selisih nilai adalah 29 ohm, 33 ohm, dan 40 ohm. (b) Elektrode sangkar delta dengan sisi 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter, dengan enam batang penyusun 1,5 meter (diameter 10 milimeter), ternyata memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah (panjang 1,5 meter, diameter 10 milimeter) dengan selisih nilai adalah 34 ohm, 37 ohm, dan 43 ohm.

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 (*ground rod*) 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 memperdalam penanaman batang pentanah, memperpanjang batang pentanah, dan 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 dapat mencapai 0,06 ohm [2], maka dilakukan cara-cara seperti pada sistem telekomunikasi, yaitu sistem elektrode sangkar. Elektrode sangkar yang digunakan dalam makalah ini adalah elektrode sangkar delta berukuran sisi 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter, dengan panjang elektrode penyusunnya tetap 1,5 meter berdiameter 10 milimeter.

Sebelumnya, penelitian tentang pengaruh elektrode sangkar persegi pada nilai resistans pentanahan satu batang pentanah telah dilakukan [3]. Elektrode sangkar persegi tersebut diletakkan mengelilingi satu batang pentanah utama. Hasilnya menunjukkan bahwa elektrode sangkar persegi tersebut memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah. Penelitian lain juga telah dilakukan, yaitu tentang pengaruh

¹ Staf 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)

perubahan panjang elektrode sangkar delta pada nilai resistans pentanahan satu batang pentanah di lokasi sempit dengan panjang sisi delta tetap [4]. Elektrode sangkar delta ini diletakkan mengelilingi satu batang pentanah utama. Hasilnya menunjukkan bahwa elektrode sangkar delta tersebut memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah.

Makalah ini menyampaikan hasil pengujian pengaruh pemberian elektrode sangkar delta dengan ukuran sisi delta divariasi, yaitu 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter (dengan panjang batang penyusun tetap 1,5 meter berdiameter 10 milimeter) pada nilai resistans pentanahan sebuah batang pentanah berukuran panjang 1,5 meter dan diameter 10 milimeter di lokasi sempit. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

II. MEMPERKECIL NILAI RESISTANS 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 (*uniform*), nilai resistans pentanahannya adalah sebagai berikut [5].

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

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 [5].

Untuk $S > L$:

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

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)

Gbr. 1 merupakan bentuk elektrode pentanahan sistem *grid* yang sering digunakan 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. 2 memperlihatkan bentuk elektrode sangkar delta yang digunakan di dalam pengujian.

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

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

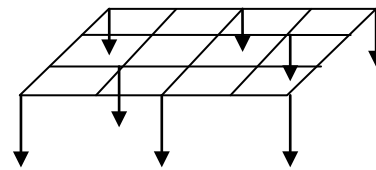
dengan:

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

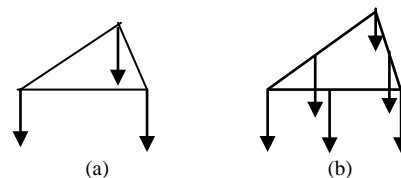
Nilai R_{es} diperoleh secara pendekatan sebesar

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

dengan n adalah banyaknya elektrode batang pentanah.



Gbr. 1 Elektrode pentanahan bentuk *grid*.



Gbr. 2 Elektrode sangkar delta, (a) tiga batang penyusun, (b) enam batang penyusun.

TABEL I
NILAI RESISTANS PENTANAHAN SATU BATANG PENTANAH
1,5 METER DIAMETER 10 MILIMETER DENGAN
ELEKTRODE SANGKAR DELTA SISI TETAP

Panjang batang penyusun (meter)	Elektrode sangkar delta tiga batang penyusun (ohm)	Elektrode sangkar delta enam batang penyusun (ohm)
0,5	57	45
1,0	45	38
1,5	40	34

Pengujian dilakukan pada tanah kebun di Desa Jembangan, Tirtoadi, Mlati, Kabupaten Sleman, Provinsi DIY. Jenis tanah di lokasi termasuk tanah ladang basah, sehingga nilai resistans jenis tanah kurang dari 100 ohm-m. Pengujian ini merupakan pengembangan penelitian yang telah dilakukan [4]. Penelitiannya menggunakan sangkar delta dengan sisi sangkar delta tetap 1 meter, dengan panjang batang penyusun 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter. Diameter elektrode batang penyusun yang digunakan 10 milimeter. Hasil penelitian tersebut disajikan pada Tabel I dan dapat digunakan untuk memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter diameter 10 milimeter, yang nilai resistans pentanahannya 108 ohm [4].

Cara lainnya yang digunakan untuk memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah adalah sebagai berikut.

1) *Menggunakan Bentonit Melingkar [7]*: Bentonit parit melingkar dibuat di sekeliling satu buah batang pentanah. Kedalaman parit dan lebar parit divariasi.

2) *Menggunakan Elektrode Sangkar Persegi [3]*: Elektrode sangkar persegi dipasang di sekeliling satu buah batang pentanah. Panjang batang penyusun elektrode sangkar persegi divariasi.

3) *Menggunakan Elektrode Sangkar Silindris [8]*: Elektrode sangkar silindris dipasang di sekeliling satu buah batang pentanah. Panjang batang penyusun elektrode sangkar silindris divariasi.

4) *Menggunakan Elektrode Sangkar Delta [4]*: Elektrode sangkar delta dipasang di sekeliling satu buah batang pentanah. Panjang batang penyusun elektrode sangkar delta divariasi, dengan sisi delta tetap.

Nilai resistans pentanahan tergantung juga pada nilai resistans jenis tanah. Hal ini dapat dilihat pada Tabel II [9]. Semakin basah tanah, semakin kecil resistans jenisnya.

TABEL II
RESISTANS JENIS TANAH DARI BERBAGAI JENIS TANAH

Jenis Tanah	Resistans Jenis Tanah (ohm-meter)
Tanah rawa	10 - 40
Tanah liat dan tanah ladang	20 - 100
Pasir basah	50 - 200
Kerikil basah	200 - 300
Pasir/kerikil kering	1000
Tanah berbatu	2000 - 3000
Air laut dan air tawar	10 - 100

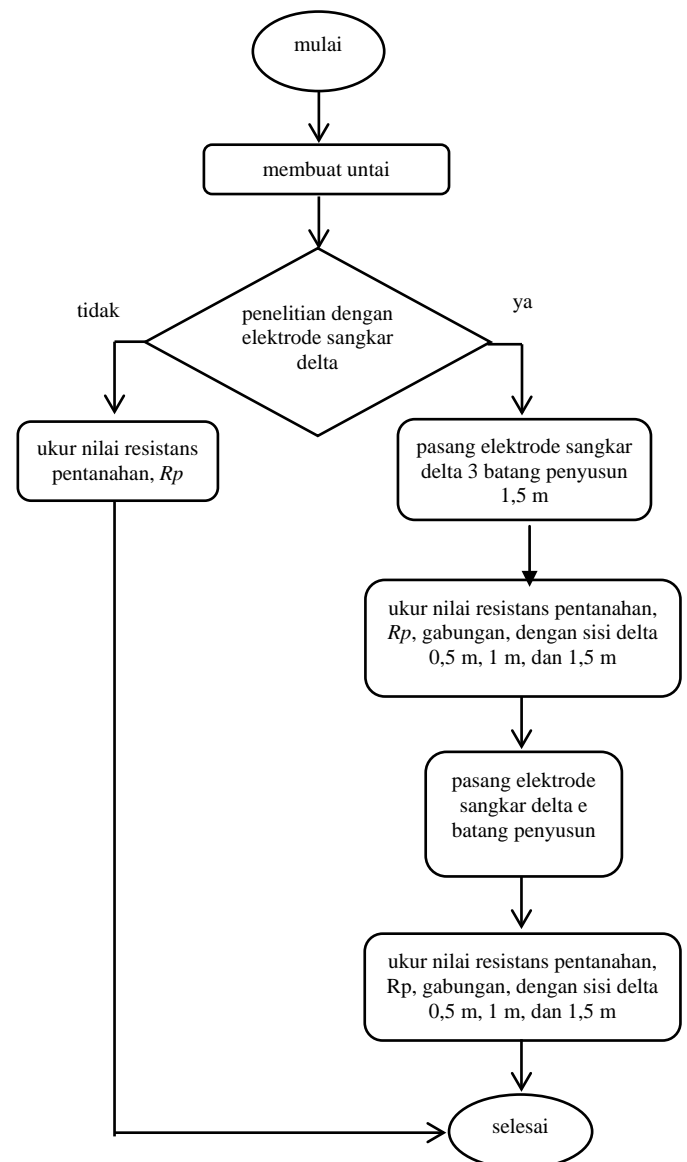
III. MATERI DAN METODE

Materi atau bahan yang digunakan yaitu batang pentanah dengan ukuran panjang 1,5 meter, diameter 10 milimeter. Dua jenis elektrode sangkar delta dengan sisi sangkar 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter disusun dari tiga dan enam batang penyusun dengan panjang tetap 1,5 meter dan dengan diameter 10 milimeter. Digunakan juga kabel-kabel dengan panjang secukupnya sebagai penghubung pembuat sangkar. Alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistans pentanahan ialah *earth resistance tester* digital. Pengujian dilakukan di Desa Jembangan, Tirtoadi, Mlati, Kabupaten Sleman, Provinsi DIY.

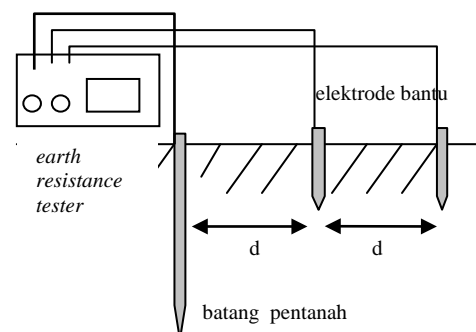
Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gbr. 3. Pada diagram alir tersebut, yang dimaksud dengan resistans pentanahan gabungan adalah resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter diameter 10 milimeter, digabung dengan resistans pentanahan elektrode sangkar delta dengan sisi 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter dengan panjang batang penyusun tetap 1,5 meter diameter 10 milimeter.

Skema pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah diperlihatkan pada Gbr. 4. Skema pengukuran resistans pentanahan dua batang pentanah paralel ditunjukkan pada Gbr. 5. Jarak paralel lebih kecil daripada panjang

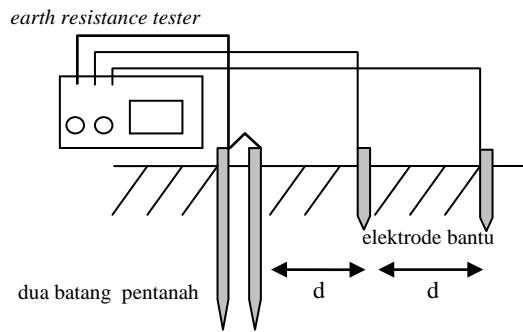
elektrode batang. Skema pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah digabung dengan elektrode sangkar delta enam batang penyusun dan tiga batang penyusun ditunjukkan pada Gbr. 6 dan Gbr. 7.



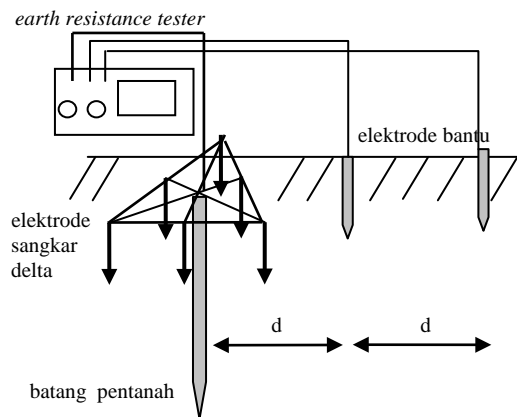
Gbr. 3 Diagram alir penelitian.



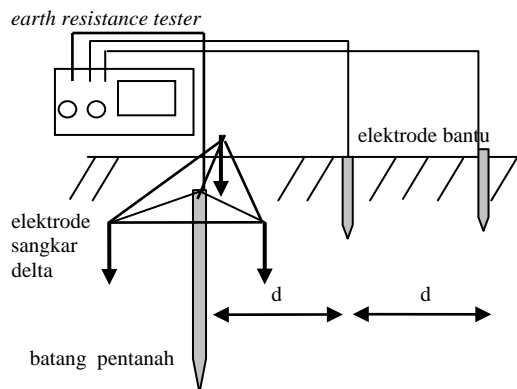
Gbr. 4 Pengukuran nilai resistans pentanahan satu batang pentanah.



Gbr. 5 Pengukuran nilai resistans pentanahan dua batang pentanah paralel berdekatan.



Gbr. 6 Pengukuran nilai resistans pentanahan satu batang pentanah dengan elektrode sangkar delta enam batang penyusun.

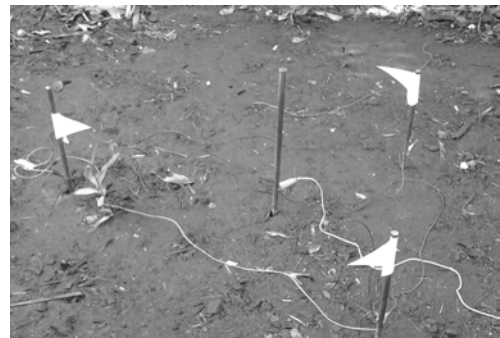


Gbr. 7 Pengukuran nilai resistans pentanahan 1 batang pentanah dengan elektrode sangkar delta tiga batang penyusun.

Foto pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah digabung dengan elektrode sangkar delta diperlihatkan pada Gbr. 8 dan Gbr. 9.

Batang pentanah dengan panjang 1,5 meter diameter 10 milimeter ditanam 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 meter). Kemudian, diukur nilai resistans pentanahannya. Pengukuran nilai resistans pentanahan dilakukan dengan menggunakan *earth resistans tester* digital. Selanjutnya dilakukan pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter diameter 10 milimeter digabung

dengan elektrode sangkar delta dengan sisi 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter, tiga batang penyusun, dan enam batang penyusun. Panjang setiap batang elektrode penyusun sangkar delta adalah 1,5 meter dengan diameter 10 milimeter. Pangkal elektrode sangkar delta dan batang pentanah berada di permukaan tanah.



Gbr. 8 Foto pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah dengan elektrode sangkar delta tiga batang penyusun sisi delta 0,5 meter.



Gbr. 9 Foto pengukuran resistans pentanahan satu batang pentanah dengan elektrode sangkar delta batang penyusun sisi delta 1 meter.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pengaruh perubahan sisi elektrode sangkar delta tiga batang penyusun dan enam batang penyusun terhadap nilai resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter dengan diameter 10 milimeter disajikan pada Tabel III, Tabel IV, dan Tabel V.

Tabel III 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 70 ohm. Tabel IV memperlihatkan nilai R_p dua batang pentanah 1,5 meter paralel, dengan jarak paralel 0,75 meter. Untuk jarak paralel 0,75 m nilai $R_p = 40$ ohm. Tabel V 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 0,5 meter, 1,0 meter, dan 1,5 meter, dengan panjang elektrode penyusun 1,5 meter mengelilingi batang pentanah tadi.

Nilai resistans pentanahan gabungan dengan elektrode sangkar delta dengan tiga batang penyusun 1,5 meter dan sisi delta 0,5 meter, 1,0 meter, dan 1,5 meter adalah 41 ohm, 37 ohm, dan 30 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 29 ohm, 33 ohm, dan 40 ohm. Nilai resistans pentanahan gabungan ini (untuk sisi delta 1 meter dan 1,5 meter) juga lebih kecil daripada nilai resistans pentanahan dua batang pentanah 1,5 meter paralel (diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 3 ohm dan 10 ohm. Nilai resistans pentanahan gabungan ini, untuk sisi delta 0,5 meter, ternyata lebih besar dari pada nilai resistans pentanahan dua batang pentanah 1,5 meter paralel (diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 1 ohm.

TABEL III
NILAI RESISTANS PENTANAHAN (R_p) SATU BATANG PENTANAH 1,5 METER TANPA ELEKTRODE SANGKAR DELTA

Panjang batang (meter)	Nilai R_p (ohm)		
	Batang A	Batang B	Rerata
1,5	70	70	70

TABEL IV
NILAI RESISTANS PENTANAHAN (R_p) DUA BATANG PENTANAH 1,5 METER PARALEL TANPA ELEKTRODE SANGKAR DELTA

Panjang batang (meter)	Nilai R_p (ohm)	Jarak paralel (meter)
1,5	40	0,75

TABEL V
NILAI RESISTANS PENTANAHAN (R_p) SATU BATANG PENTANAH 1,5 METER DENGAN ELEKTRODE SANGKAR DELTA TIGA DAN ENAM BATANG PENYUSUN

Tiga batang penyusun			Enam batang penyusun		
Sisi delta	0,5 m	41 ohm	Sisi delta	0,5 m	36 ohm
	1,0 m	37 ohm		1,0 m	33 ohm
	1,5 m	30 ohm		1,5 m	27 ohm

Nilai resistans pentanahan gabungan dengan elektrode sangkar delta enam batang penyusun 1,5 meter dengan sisi delta 0,5 meter, 1,0 meter, dan 1,5 meter adalah 36 ohm, 33 ohm, dan 27 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 34 ohm, 37 ohm, dan 43 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 4 ohm, 7 ohm, dan 13 ohm.

Dari pembahasan tersebut, elektrode sangkar delta dengan batang penyusun 1,5 meter berdiameter 10 milimeter (sisi 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter) ternyata berpengaruh cukup besar untuk memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter berdiameter 10 milimeter, untuk kedalaman penanaman yang sama.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Elektrode sangkar delta dengan sisi 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter, dengan tiga batang penyusun 1,5 meter (diameter 10 milimeter), ternyata memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter (diameter 10 milimeter) dengan selisih nilai adalah 29 ohm, 33 ohm, dan 40 ohm. Elektrode sangkar delta dengan sisi 0,5 meter, 1 meter, dan 1,5 meter, dengan enam batang penyusun 1,5 meter (diameter 10 milimeter), ternyata memperkecil nilai resistans pentanahan satu batang pentanah 1,5 meter (diameter 10 milimeter) dengan selisih nilai adalah 34 ohm, 37 ohm, dan 43 ohm. Nilai resistans pentanahan gabungan satu batang pentanah 1,5 meter diameter 10 milimeter dengan elektrode sangkar delta dengan sisi delta 0,5 meter, ternyata lebih besar dari pada nilai resistans pentanahan dua batang pentanah 1,5 meter paralel (diameter 10 mm) dengan selisih nilai adalah 1 ohm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Ketua Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi FT UGM, yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan 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 Sumbang, "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] Harnoko, 2014, "Pengaruh Elektrode Sangkar Persegi Pada Nilai Resistans Pentanahan 1 Batang Pentanah di Lokasi Sempit", Laporan Penelitian Hibah JTETI-FT-UGM.
- [4] Harnoko Stephanus, "Pengaruh Perubahan Panjang Elektrode Sangkar Delta pada Nilai Resistans Pentanahan 1 Batang Pentanah di Lokasi Sempit", Laporan Penelitian Hibah DTETI FT UGM, 2015.
- [5] T.S. Hutaaruk, *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga dan Pengetahuan Peralatan*, edisi ke 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
- [6] A.S. Pabla, *Electric Power Distribution*, Tata McGraw-Hill Education, New Delhi, 2004.
- [7] Harnoko Stephanus, "Pengaruh Bentonit Parit Melingkar Terhadap Nilai Resistans Pentanahan 1 Batang Pentanah di Lokasi Sempit", Laporan Penelitian Hibah DTETI FT UGM, 2015.
- [8] Harnoko, 2013, "Pengaruh Elektrode Sangkar Silindris Pada Nilai Resistans Pentanahan 1 Batang Pentanah di Lokasi Sempit", Laporan Penelitian Hibah JTETI-FT-UGM.
- [9] Pijpaert, 1999, *Pentanahan Perlengkapan Tenaga Listrik*, PLN.