

# KONFIGURASI ELEKTRODA BATANG PADA SISTEM PENTANAHAN

Dedi Nugroho<sup>1</sup>

## Abstrak

Elektroda batang adalah jenis elektroda yang secara umum digunakan dalam sistem pentanahan. Terdapat beberapa metode konfigurasi penanaman elektroda batang dalam tanah. Besarnya tahanan pentanahan sangat tergantung pada tahanan jenis tanah dan konfigurasi elektroda batang yang digunakan. Disamping itu tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh struktur komposisi tanah itu sendiri, misalnya tahanan jenis pada tanah lempung akan berbeda dengan tahanan jenis yang berkerikil atau berbatu. Adakalanya pada daerah – daerah tertentu dijumpai penanaman elektroda batang yang ditanam pada tanah yang mengandung dua komposisi berbeda.

Pada penelitian ini disimulasikan beberapa jenis konfigurasi elektroda batang untuk mengetahui dampaknya terhadap besarnya tahanan pentanahan, dan pengaruh penanaman elektroda yang ditanam pada tanah yang mengandung dua jenis tahanan tanah berbeda

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi penanaman elektroda batang mampu mereduksi besarnya tahanan pentanahan, semakin banyak elektroda batang ditanam dalam tanah, maka semakin kecil nilai tahanan pentanahannya. Penanaman elektroda batang pada tanah yang memiliki 2 jenis tahanan permukaan berbeda secara signifikan mempengaruhi nilai tahanan pentanahannya, perlu diperhitungkan secara cermat kedua tahanan jenis tersebut, sehingga akan diperoleh desain konfigurasi yang memenuhi persyaratan

Keywords : Elektroda Batang, Tahanan Jenis Tanah, Tahanan Pentanahan

## PENDAHULUAN

Sistem Pentanahan dalam sistem tenaga listrik bertujuan untuk mengamankan peralatan – peralatan listrik maupun manusia yang berlokasi disekitar gangguan terjadi. Apabila timbul gangguan hubung singkat, arus gangguan mengalir melalui peralatan – peralatan yang terbuat dari bahan metal, dan mengalir juga pada tanah disekitar lokasi gangguan, Akibat dari gangguan tersebut timbul gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan diantara permukaan tanah itu sendiri. Gradien tegangan sangat membahayakan baik bagi peralatan maupun manusia disekitarnya apabila meyentuh peralatan – peralatan tersebut. Besarnya gradien tegangan sangat tergantung pada komposisi tanah, dan tahanan jenis tanah, oleh karena itu untuk membatasi gradien tegangan digunakan sistem pentanahan, yaitu dengan cara menanam elektroda didalam tanah. Ada berbagai jenis elektroda yang kerap digunakan dalam sistem pentanahan, yaitu elektroda batang, elektroda kawat, elektroda cincin, dan elektroda pelat. Elektroda batang adalah jenis elektroda yang umum digunakan sebagai elektroda pentanahan, elektroda ini biasanya berbentuk silinder dengan ukuran diameter dan panjang yang bervariasi. Konfigurasi penyusunan elektroda batang dalam tanah sering dilakukan guna memperoleh nilai tahanan pentanahan yang kecil.

---

<sup>1</sup> Staff Pengajar Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri UNISSULA Semarang

## Perumusan Masalah

Dampak dari konfigurasi penyusunan penanaman elektroda dalam tanah adalah nilai tahanan pentanahan yang bervariasi, disamping itu terkadang dijumpai penanaman elektroda batang dalam 2 lapisan tanah berbeda. Berdasarkan hal tersebut diatas maka penulis tertarik untuk mengkaji sejauh mana efek perubahan konfigurasi elektroda batang terhadap nilai tahanan pentanahan, dan bagaimana pengaruh penanaman elektroda batang dalam 2 lapisan tanah.

## METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan mengambil sejumlah sampel tahanan jenis tanah di beberapa lokasi gardu distribusi, guna memperoleh data – data yang diperlukan untuk bahan penelitian. Selanjutnya diasumsikan suatu elektroda batang dengan diameter dan panjang tertentu ditanam dalam tanah dengan berbagai konfigurasi seperti penanaman tunggal elektroda batang, dua elektroda batang, tiga elektroda batang dengan bentuk geometris segitiga, dan multi elektroda dengan bentuk geometris segi empat pada lokasi – lokasi dimana sampel tersebut diambil. Penelitian berikutnya adalah mengasumsikan penanaman dua buah elektroda batang yang ditanam secara tegak lurus dalam 2 buah lapisan berbeda. Simulasi dilakukan dengan menggunakan beberapa rumus empiris untuk konfigurasi – konfigurasi tersebut diatas.<sup>3</sup> Hasil penelitian dianalisa guna mendapatkan kesimpulan – kesimpulan dari hasil – hasil penelitian.

## TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Y.L. Chow, dkk. (1996), penanaman elektroda batang pada struktur tanah yang memiliki 2 lapisan berbeda, menyebabkan tahanan jenis di kedua lapisan tanah itu berbeda, akibatnya nilai pentanahan dihitung dengan melibatkan kedua tahanan jenis tanah tersebut. Tadjudin (1998), menyampaikan artikel yang mengulas masalah beberapa konfigurasi elektroda batang yang dapat mereduksi nilai tahanan pentanahan. A.S. Pabla (1986) dalam buku system distribusi daya listrik menyajikan beberapa formulasi empiris guna menghitung nilai tahanan pentanahan untuk beberapa konfigurasi penanaman elektroda batang. J. Patrick Donohoe, (1999) melakukan penelitian dengan menanam suatu elektroda batang yang memiliki dimensi yang sama, namun ditanam dalam struktur tanah berbeda, yaitu tanah berpasir dan tanah lempung, hasilnya memperlihatkan bahwa tanah lempung memiliki tahanan pentanahan yang rendah dibandingkan tanah berpasir. Berdasarkan tinjauan diatas, penulis tertarik untuk menghitung tahanan pentanahan sebagai akibat pengaruh konfigurasi penanaman elektroda batang pada berbagai sampel lokasi dan mensimulasikan pengaruh penanaman elektroda batang pada dua buah lapisan yang memiliki struktur berbeda.

## Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah merupakan hal terpenting dalam perencanaan system pentanahan, karena dapat secara signifikan mempengaruhi nilai pentanahan. Tahanan jenis tanah  $\rho$  (ohm – meter) adalah parameter yang merepresentasikan karakteristik tanah. Sebelum merencanakan system pentanahan, tahanan jenis tanah perlu terlebih dahulu diketahui dengan cara melakukan pengukuran – pengukuran secara langsung pada titik – titik lokasi yang telah direncanakan, selanjutnya berdasarkan data – data pengukuran tersebut dapat direncanakan system pentanahan yang memenuhi persyaratan. Tahanan jenis tanah memiliki nilai – nilai yang sangat bervariasi, tergantung pada struktur dan komposisi tanah, misalnya tanah berpasir, berbatu, berketikil, tanah lempung / liat, tanah rawa, dsb.

Dala PUIL 1987 (320-1), diperlihatkan beberapa nilai tahanan jenis tanah untuk berbagai struktur tanah seperti terlihat dalam tabel 1. Pada dasarnya tahanan jenis tanah ditentukan oleh kandungan elektrolit, air, mineral dan garam. Tanah kering memiliki tahanan yang tinggi, sedangkan tanah basah bisa saja memiliki tahanan tinggi apabila tak mengandung garam yang mudah larut. Tahanan jenis tanah berkaitan erat dengan kandungan air dan suhu, maka dapat diasumsikan bahwa tahanan pentanahan system dapat saja berubah sesuai dengan perubahan iklim, Misalkan suatu elektroda ditanam dalam tanah saat musim hujan, dimana kondisi tanah lembab dan basah sehingga tahanan pentanahan rendah, tetapi pada saat musim kemarau, keadaan tanah menjadi kering, akibatnya tahanan pentanahan menjadi tinggi, oleh sebab itu agar diperoleh tahanan pentanahan yang tetap rendah, elektroda tanah harus ditanam pada kedalaman yang cukup, dimana dipastikan bahwa elektroda tanah senantiasa mendapatkan kandungan air yang cukup sepanjang musim, karena pada kedalaman tanah yang dalam, kandungan air relatif cukup stabil terhadap perubahan musim.

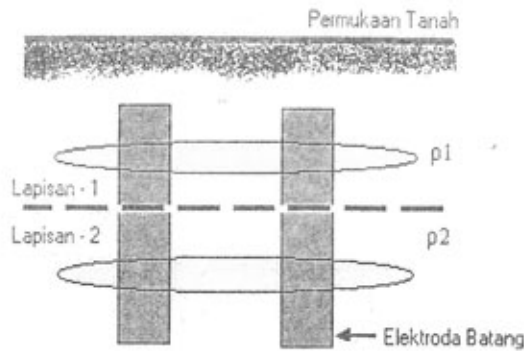
Tabel 1. Tahanan Jenis Tanah untuk Berbagai Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (ohm – meter)
1	Tanah Rawa	10 ---- 40
2	Tanah Lempung	20 -----100
3	Pasir Basah	50 ----- 200
4	Kerikil Basah	200 ---- 300
5	Pasir/Kerikil Kering	< 10000
6	Tanag Berbatu	2000 ---- 3000
7	Air Laut / Tawar	10 ----- 100

*Berlaku untuk tanah lembab sampai basah*

Pada tanah kering berpasir, tanah bersifat sebagai isolator yang baik, karena tahanan jenis tanah tinggi, oleh sebab itu pada kondisi tanah seperti itu dianjurkan elektroda tanah ditanam pada kedalaman yang dalam agar elektroda tanah berada pada lapisan yang memiliki kandungan air yang cukup. Terkadang dijumpai penanaman elektroda yang berada pada dua buah lapisan berbeda, misal antara tanah berkerikil dan tanah lempung, karena kedua jenis tanah tersebut memiliki karakteristik berbeda, maka kedua tahanan jenis tersebut perlu dilibatkan guna memperoleh tahanan ekuivalen elektroda tersebut. Gambar.1 memperlihatkan dua elektroda batang ditanam sejajar dalam tanah yang memiliki 2 buah lapisan yang berbeda. Jika  $\rho_1$  adalah tahanan jenis tanah lapisan kesatu dan  $\rho_2$  adalah tahanan jenis tanah lapisan tanah kedua, maka factor refleksi k dapat ditentukan sebagai berikut :

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 1. Elektro Batang Ditanam Dalam 2 Lapisan Tanah

Menurut IEEE, standar 81, tahanan jenis rata – rata adalah :

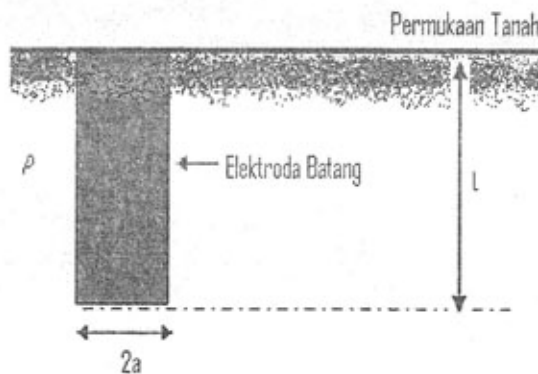
$$\rho_{avg} = \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{d} \left[ \frac{2a}{\sqrt{1+(2nH/a)^2}} - \frac{a}{\sqrt{1+(2nH/2a)^2}} \right] \right\} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- $\rho_{avg}$  = Tahanan jenis tanah rata – rata dua lapisan tanah (ohm-m)
- $\rho_1$  = Tahanan jenis tanah lapisan pertama (ohm – m)
- k = Faktor refleksi
- d = Diameter elektroda
- n = Jumlah sampel pengamatan tiap lapisan
- a = Jarak antar elektroda

**Tahanan Pentanahan Elektroda Batang**

Elektroda batang merupakan bahan penghantar yang membawa muatan listrik yang terdistribusi atau menyebar disekitar elektroda batang, Menurut Proff. H.B. Dwight dari *Massachutes Technologie Institute*, satu buah elektroda tegak dipasang tegak lurus seperti terlihat dalam gambar 2.



Gambar 2. Satu Elektroda Batang Ditanam Tegak Lurus

Tahanan pentanahan dapat dihitung sebagai berikut :

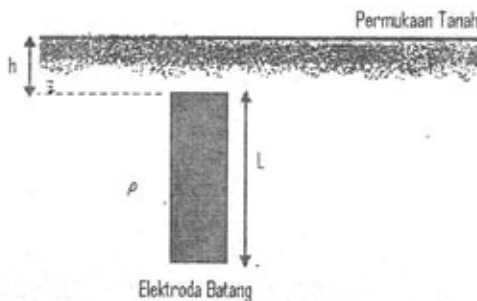
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (3)$$

dengan

- L = Panjang elektroda batang (meter)
- a = Jari – jari elektroda batang (meter)
- $\rho$  = Tahanan jenis tanah ( ohm meter )

Jika elektroda tersebut ditanam beberapa cm dari permukaan tanah seperti terlihat dalam gambar 3, maka tahanan pentanahan adalah :

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



Gambar 3. Elektroda Batang Ditanam Beberapa cm Dibawah Permukaan Tanah

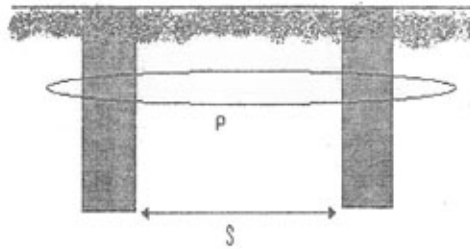
Elektroda untuk sistem sampai 20 KV umumnya menggunakan ukuran batas minimum yang diperkenankan, dengan diameter 20 mm, atau pipa bergaris tengah 25 mm sepanjang 3m yang ditanam kedalaman 0,5 – 0,75 cm dibawah permukaan tanah.

**Multi Elektroda Ditanam Sejajar**

Pada struktur tanah yang memiliki tahanan jenis tanah tinggi, beberapa elektroda ditanam dalam tanah guna menurunkan nilai tahanan pentanahan. Rumus – rumus empiris disadur dari A.S. Pabla (1986), disajikan dalam penelitian ini guna memperoleh nilai – nilai tahanan pentanahan untuk berbagai susunan elektroda.

**Dua Elektroda Ditanam Sejajar**

Jika dua buah elektroda batang ditanam sejajar didalam tanah dengan jarak antar elektroda  $S$ , maka tahanan pentanahan dapat dihitung melalui persamaan – persamaan dibawah ini.



Gambar 4. Dua Elektroda Ditanam Sejajar Dalam Tanah

Misalkan  $R_1$  adalah tahanan pentanahan dari satu buah elektroda tunggal yang ditanam tegak lurus dalam tanah, dimana besar  $R_1$  sesuai dengan persamaan 3, maka hubungan antar tahanan pentanahan ekivalen dari dua elektroda dan tahanan pentanahan satu elektroda adalah sebagai berikut :

$$\frac{Re k}{R_1} = \frac{1 + X}{2} \dots\dots\dots (5)$$

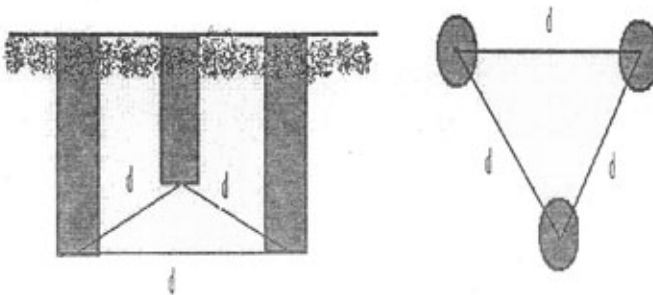
dengan

$$x = \left( \frac{L}{\ln 48a / L - 1} \right) / d \dots\dots\dots (6)$$

**Tiga Elektroda Batang Ditanam Sejajar Berbentuk Segitiga**

Jika tiga buah elektroda ditanam sejajar dalam permukaan tanah membentuk susunan geometris segitiga sama sisi dengan panjang sisi  $d$ , maka tahanan pentanahan dapat ditentukan sebagai berikut :

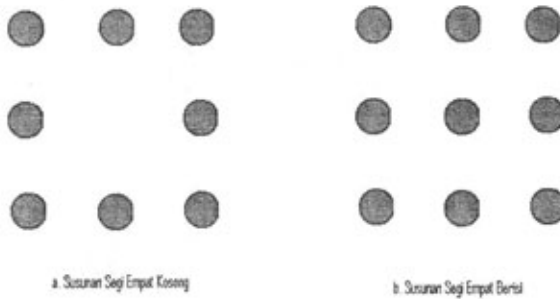
$$\frac{Re k}{R_1} = \frac{1 + 2X}{3} \dots\dots\dots (8)$$



Gambar 5. Susunan 3 Buah Elektroda Berbentuk Segitiga Saman Sisi

**Multi Elektroda batang ditanam dalam tanah berbentuk segi empat**

Sejumlah elektroda batang disusun membentuk susunan geometris segi empat kosong atau segi empat berisi seperti terlihat dalam gambar 6, dibawah ini dibawah ini.



Gambar 6. Multi Elektroda Ditanam dalam Tanah dengan Bentuk Empat Persegi

Pada gambar 6a memperlihatkan susunan elektroda batang membentuk segi empat kosong dengan jumlah total elektroda 8 buah dengan jumlah pada masing – masing sisi segi empat adalah 3 buah, sementara pada gambar 6b memperlihatkan susunan elektroda batang membentuk segitiga berisi dengan jumlah total elektroda batang 9 buah dan masing – masing sisi segi empat berjumlah 3 buah. Jika jumlah elektroda N, maka berlaku hubungan

$$\frac{Re k}{R_1} = \frac{1 + kX}{N} \dots\dots\dots (9)$$

Harga k untuk berbagai jumlah elektroda ditunjukkan dalam tabel 1 dan tabel 2 dibawah ini.

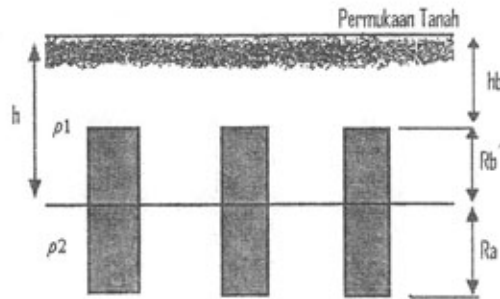
Tabel 2. Harga Konstanta K untuk Susunan Segiempat Kosong

Jumlah Elektroda Sepanjang Sisi Segi Empat	Jumlah Total Elektroda Batang	Harga K
2	4	2,7071
3	8	4,2583
4	12	5,3939
5	16	6,0072
6	20	6,4633
7	24	6,8363
8	28	7,1479
9	32	7,4195
10	36	7,6551

(sumber : A.S. Pabla, 1996 " Sistem distribusi daya listrik")

**Penanaman Elektroda Batang Dalam 2 Lapisan Tanah Berbeda**

Pada lokasi tertentu, elektroda batang harus ditanam dibawah permukaan tanah yang memiliki karakteristik berbeda, oleh sebab itu perlu diperhitungkan tahanan pentanahan ekuivalen dari 2 tahanan jenis tanah berbeda. Berikut ini diberikan rumus perhitungan menentukan tahanan pentanahan ekuivalen untuk multi elektroda yang ditanam dalam 2 lapisan berbeda.



Gambar 7. Elektroda Batang Ditanam dalam 2 Lapisan Berbeda

$$Re k = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}} \dots\dots\dots (10)$$

dengan :

$$R_a = \frac{\rho_2}{(L + hb - h)} go \frac{F_o}{N} \dots\dots\dots (11)$$

$$R_b = \frac{\rho_1}{(h - hb)} go \frac{F_o}{N} + \frac{\rho_1}{h} \phi_o \dots\dots\dots (12)$$

$$go = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left[ \frac{2L}{a} \right] - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2)hb}{L}} \right] \dots\dots\dots (13)$$

$$F_o = \frac{L}{1 - 0,9K} \dots\dots\dots (14)$$

$$\phi_o = \frac{\frac{1}{2\pi} \left( \ln \frac{1}{1-k} \right)}{\sqrt{\left( \frac{N}{F_o} - 1 \right)^2 + 1}} \dots\dots\dots (15)$$

Penanaman elektroda batang pada keadaan tanah yang memiliki 2 lapisan berbeda umumnya terjadi pada lokasi - lokasi yang memiliki lapisan - lapisan tanah yang heterogen, atau pada keadaan tanah yang memiliki tahanan jenis tinggi, sehingga diperlukan penanaman elektroda yang sangat dalam, elektroda tersebut tertanam pada 2 lapisan berbeda. Rumus - rumus tersebut digunakan untuk menghitung tahanan pentanahan ekuivalen.



### Data Tahanan Jenis Tanah

Sebagai bahan penelitian, diperlukan sejumlah data sampel berupa nilai tahanan jenis tanah pada lokasi – lokasi berbeda. Data – data tahanan jenis tanah diperoleh dari beberapa lokasi Gardu Distribusi yang diambil secara acak di beberapa wilayah sekitar Semarang. Data – data tersebut diambil dari data sumber PLN Distribusi Jawa Tengah cabang Semarang. Data – data tahanan jenis tanah pada beberapa sampel ditampilkan pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Tahanan Jenis Berbagai GI

No.	Unit	No. Tiang	KVA Trafo	Tahanan Jenis (ohm-m)	Kondisi Saat Pengukuran
1.	RT. Ambarawa	SA1 – 205	50	588.37	Lembab
2.	RT. Ambarawa	SA1 – 144	50	1861.80	Lembab
3.	RT. Salatiga	SA2 – 91	50	1292.8	Lembab
4.	RT. Salatiga	SA5 – 112	50	806.6	Basah
5.	RT. Ungaran	19/S1 – 352	25	696.104	Lembab
6.	RT. Ungaran	U52 – 207	100	1165.70	Lembab
7.	RT. Boja	US2 – 354	50	943.61	Basah
8.	RT. Boja	B6 – 95	25	803.83	Lembab
9.	RT. Semarang Barat	U4 – 180	50	790.02	Basah
10.	RT. Semarang Barat	U4/B2 – 56	50	1258.51	Kering
11.	RT. Banyumanik	S1 – 34	50	1773.41	Lembab
12.	RT. Banyumanik	SR4 – 54	100	304.66	Lembab

### Data Elektroda Batang

Elektroda batang yang digunakan untuk penelitian adalah Elektroda batang berbentuk silinder dengan spesifikasi :

Diameter :  $\frac{3}{4}$  inchi = 0,01905 meter

Jari – jari :  $9,25 \times 10^{-3}$  meter

Panjang : 3,5 meter

### HASIL PENELITIAN

#### Satu Batang Konduktor Ditanam dalam Tanah

Dalam penelitian ini, satu batang konduktor ditanam dalam tanah. Dimensi elektroda batang diasumsikan memiliki diameter konduktor  $\frac{3}{4}$  inchi (0,01905 meter), jari – jari konduktor  $9,525 \times 10^{-3}$  meter, dan panjang konduktor 3,5 meter. Hasil simulasi terlihat dalam tabel 4 dibawah ini.

**Tabel 4. Hasil Perhitungan Satu Elektroda Ditanam dalam Tanah**

No.	Unit	Tahanan Jenis (Ohm – meter)	Tahanan Pentanahan ( Ohm )
1.	Ambarawa	588,37	169,23
2.	Ambarawa	1861,8	535,51
3.	Salatiga	1292,8	371,85
4.	Salatiga	806,6	232,01
5.	Ungaran	696,10	200,22
6.	Ungaran	1165,70	335,29
7.	Boja	943,61	271,41
8.	Boja	803,83	231,21
9.	Banyumanik	1773,41	510,04
10.	Banyumanik	309,66	89,07
11.	Semarang Barat	790,02	227,29
12.	Semarang Barat	1258,51	361,93

**Satu Batang Konduktor Ditanam beberapa cm dibawah Permukaan Tanah**

Satu buah elektroda batang ditanam seluruhnya dibawah tanah dengan jarak beberapa cm dari permukaan tanah, seperti terlihat dalam gambar 3. Hasil simulasi terlihat dalam tabel 5 dibawah ini

**Tabel 5. Hasil Perhitungan Satu Elektroda Ditanam Beberapa cm Dibawah Permukaan Tanah**

No	Unit	Tahanan Jenis (Ohm – meter)	Tahanan Pentanahan ( Ohm )
1.	Ambarawa	588,37	149,99
2.	Ambarawa	1861,8	474,61
3.	Salatiga	1292,8	329,57
4.	Salatiga	806,6	205,62
5.	Ungaran	696,104	177,45
6.	Ungaran	1165,70	297,17
7.	Boja	943,61	240,55
8.	Boja	803,83	204,92
9.	Banyumanik	1773,41	452,02
10.	Banyumanik	309,66	78,94
11.	Semarang Barat	790,02	201,39
12.	Semarang Barat	1258,51	320,83

**Dua Buah Elektroda Ditanam Sejajar Didalam Tanah**

Dua buah elektroda batang ditanam sejajar didalam tanah seperti pada gambar 4, dengan jarak antar elektroda batang diasumsikan 1 meter, maka tahanan pentanahan dapat dihitung dengan persamaan 5 Hasil simulasi terlihat dalam tabel 6.

**Tabel 6. Hasil Perhitungan Dua Elektroda Ditanam Sejajar Dalam Tanah**

No	Unit	Tahanan Jenis (Ohm – meter)	Tahanan Pentanahan ( Ohm )
1.	Ambarawa	588,37	118,21
2.	Ambarawa	1861,8	374,05
3.	Salatiga	1292,8	259,74
4.	Salatiga	806,6	162,06
5.	Ungaran	696,104	139,85
6.	Ungaran	1165,70	234,20
7.	Boja	943,61	189,58
8.	Boja	803,83	161,50
9.	Banyumanik	1773,41	356,26
10.	Banyumanik	309,66	62,21
11.	Semarang Barat	790,02	158,76
12.	Semarang Barat	1258,51	252,81

**Tiga Buah Elektroda Ditanam Sejajar Membentuk Geometris Segitiga**

Tiga buah elektroda batang ditanam sejajar didalam tanah dengan susunan geometris segitiga sama sisi dengan panjang sisi segitiga d, seperti terlihat dalam gambar 5, dengan asumsi panjang masing – masing sisi segitiga adalah 1 meter. Hasil simulasi terlihat dalam tabel 6 dibawah ini.

**Tabel 7. Hasil Perhitungan 3 Elektroda Ditanam Membentuk Segitiga**

No	Unit	Tahanan Jenis (Ohm – meter)	Tahanan Pentanahan ( Ohm )
1.	Ambarawa	588,37	101,24
2.	Ambarawa	1861,8	283,82
3.	Salatiga	1292,8	197,08
4.	Salatiga	806,6	122,96
5.	Ungaran	696,104	106,12
6.	Ungaran	1165,70	177,71
7.	Boja	943,61	148,83
8.	Boja	803,83	122,54
9.	Banyumanik	1773,41	270,32
10.	Banyumanik	309,66	47,21
11.	Semarang Barat	790,02	120,43
12.	Semarang Barat	1258,51	191,86

**Multi Elektroda Ditanam Sejajar Membentuk Geometris Segi Empat Kosong**

Penelitian selanjutnya adalah dengan menyusun multi elektroda sejajar ditanam dalam tanah membentuk susunan geometris segi empat kosong, dengan jumlah elektroda sepanjang sis segi empat adalah 3 buah dan jumlah elektroda total 8 buah seperti terlihat dalam gambar 6a.

Hasil – hasil perhitungan terhadap susunan geometris ini dapat dilihat dalam tabel 8. dibawah ini.

Tabel 8. Hasil Perhitungan 8 Elektroda Ditanam Dalam Tanah Membentuk Segi Empat Kosong Dengan Setiap Panjang Segi Empat Terdiri Dari 3 Buah Elektroda

No	Unit	Tahanan Jenis (Ohm - meter)	Tahanan Pentanahan ( Ohm )
1.	Ambarawa	588,37	55,29
2.	Ambarawa	1861,8	174,97
3.	Salatiga	1292,8	121,50
4.	Salatiga	806,6	75,81
5.	Ungaran	696,104	65,42
6.	Ungaran	1165,70	109,55
7.	Boja	943,61	88,68
8.	Boja	803,83	75,54
9.	Banyumanik	1773,41	166,65
10.	Banyumanik	309,66	29,10
11.	Semarang Barat	790,02	74,26
12.	Semarang Barat	1258,51	118,26

Selanjutnya disimulasikan untuk penanaman elektroda batang yang bervariasi mulai dari jumlah elektroda sepanjang sisi segi empat 2 sampai dengan 10. Hasil perhitungan terlihat dalam tabel 9 dibawah ini

Tabel 9. Hasil Perhitungan Untuk Susunan Elektroda Segi Empat Kosong

Jumlah Elektroda Sepanjang Sisi Segi Empat	Jumlah Total Elektroda	Tahanan Jenis Tanah (ohm-m)	Tahanan Pentanahan (ohm)
2	4	588,37	85,71
3	8		55,29
4	12		42,93
5	16		34,66
6	20		29,19
7	24		25,32
8	28		22,42
9	32		20,16
10	36		18,34

#### Multi elektroda ditanam sejajar membentuk geometris segi empat berisi

Penelitian selanjutnya adalah dengan menyusun multi elektroda sejajar ditanam dalam tanah membentuk susunan geometris segi empat kosong, dengan jumlah elektroda sepanjang sisi segi empat adalah 3 buah dan jumlah total elektroda batang 9 buah seperti terlihat dalam gambar 6b. Hasil perhitungan diperlihatkan dalam tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan 9 Elektroda Ditanam Dalam Tanah Membentuk Segi Empat Berisi Dengan Setiappanjang Segi Empat Terdiri Dari 3 Buah Elektroda

No	Unit	Tahanan Jenis (Ohm - meter)	Tahanan Pentanahan ( Ohm )
1.	Ambarawa	588,37	60,79
2.	Ambarawa	1861,8	192,36
3.	Salatiga	1292,8	133,57
4.	Salatiga	806,6	83,34

5.	Ungaran	696,104	71,92
6.	Ungaran	1165,70	120,44
7.	Boja	943,61	97,49
8.	Boja	803,83	83,05
9.	Banyumanik	1773,41	183,21
10.	Banyumanik	309,66	31,99
11.	Semarang Barat	790,02	81,65
12.	Semarang Barat	1258,51	130,01

Selanjutnya disimulasikan untuk penanaman elektroda batang yang bervariasi mulai dari jumlah elektroda sepanjang sisi segi empat 3 sampai dengan 10.

**Tabel 11. Hasil Perhitungan Tahanan Pentanahan Untuk Susunan Elektroda Segi Empat Berisi**

Jumlah Elektroda Sepanjang Sisi Segi Empat	Jumlah Total Elektroda	Tahanan Jenis Tanah (ohm-m)	Tahanan Pentanahan (ohm)
3	9	588,37	60,79
4	16		44,87
5	25		36,11
6	36		29,76
7	49		25,57
8	64		22,19
9	81		19,75
10	100		17,70

## ANALISA

Tahanan jenis dari beberapa sampel gardu distribusi diberberapa rute saluran distribusi primer memiliki nilai – nilai yang berbeda, hal ini sudah tentu disebabkan oleh kondisi lokasi – lokasi gardu yang berbeda, sehingga mempunyai karakteristik berbeda. Dari 12 sampel yang diambil, terlihat bahwa di RT Ambarawa dengan no. Tiang SA1 – 144 memiliki tahanan jenis tertinggi yaitu 1861,8 ohm-meter, sementara nilai tahanan jenis terendah adalah 309,66 ohm-meter yang berada di RT Banyumanik dengan no. Tiang SR4 – 59. Dari berbagai percobaan simulasi dengan berbagai macam konfigurasi penanaman elektroda batang seperti terlihat dalam tabel 4.8 terlihat bahwa dengan menyusun elektroda batang dengan berbagai konfigurasi dapat menurunkan nilai tahanan pentanahan.

Pada awal penelitian dilakukan simulasi penanaman elektroda batang satu buah yang ditanam dalam tanah, terlihat hasil simulasi (tabel 4.1) menunjukkan nilai tahanan pentanahan sangat bervariasi bergantung pada tahanan jenis tanahnya. Simulasi kedua dilakukan dengan menanam elektroda batang tersebut seluruhnya dalam tanah dengan jarak beberapa cm dari permukaan tanah, hasilnya terjadi penurunan tahanan pentanahan sekitar 11%. Penelitian berikutnya dua buah elektroda berdimensi sama ditanam sejajar dalam tanah, hasil simulasi menunjukkan terjadi penurunan tahanan pentanahan sekitar 30%. Selanjutnya tiga buah elektroda batang ditanam sejajar dalam tanah membentuk geometris segi tiga sama sisi, hasilnya penurunan tahanan pentanahan meningkat menjadi sekitar 47%. Penanaman multi elektroda biasanya dilakukan membentuk susunan segi empat baik segi

empat kosong maupun segi empat berisi. Pada penelitian ini disimulasikan 8 buah elektroda batang disusun membentuk segi empat kosong dengan masing – masing sisi panjangnya berjumlah 3 buah elektroda batang, hasilnya penurunan tahanan pentanahan meningkat menjadi 67%, setelah itu disimulasikan juga penanaman 9 buah elektroda batang membentuk susunan segi empat berisi, dengan masing – masing sisinya terdiri dari 3 buah elektroda batang, ternyata terjadi penurunan 64%, atau sekitar 3% lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi segi empat kosong.

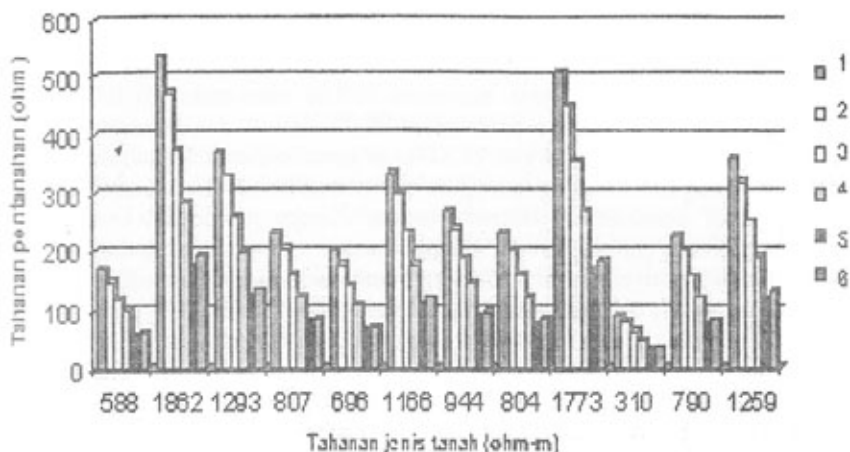
Tabel 12. Hasil Perhitungan Tahanan Pentanahan Untuk Berbagai Konfigurasi

Tahanan Jenis (ohm-m)	Satu Elektroda Ditanam dalam Tanah	Satu Elektroda Ditanam Beberapa cm dari Permukaan Tanah	Dua Elektroda Ditanam Sejajar dalam Tanah	Tiga Elektroda Ditanam Membentuk Geometris Segetiga Sama Sisi	Elektroda Ditanam Membentuk Segi Empat Kosong dengan Delapan Elektroda	Elektroda Ditanam Membentuk Segi Empat Berisi dengan Delapan Elektroda
588.37	169.23	149.99	118.21	101.24	55.29	60.79
1861.8	535.51	474.61	374.05	283.82	174.97	192.36
1292.8	371.85	329.57	259.74	197.08	121.5	133.57
806.6	232.01	205.62	162.06	122.96	75.81	83.34
696.10	200.22	177.45	139.85	106.12	65.42	71.92
1165.70	335.29	297.17	234.20	177.71	109.55	120.44
943.61	271.41	240.55	189.58	148.83	88.68	97.49
803.83	231.21	204.92	161.50	122.54	75.54	83.05
1773.41	510.04	452.02	356.26	270.32	166.65	183.21
309.66	89.07	78.94	62.21	47.21	29.1	31.99
790.02	227.29	201.39	158.76	120.43	74.26	81.65
1258.51	361.93	320.83	252.81	191.86	118.26	130.01

Dari hasil simulasi terlihat susunan segi empat berisi, membutuhkan elektroda batang yang lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan susunan segi empat kosong yang membutuhkan elektroda batang lebih sedikit, namun hasil perhitungan menunjukkan susunan segi empat kosong lebih besar 3% dalam hal penurunan tahanan pentanahannya, sehingga jika dilihat dari segi biaya, maka susunan segi empat kosong lebih ekonomis dan efektif.

Gambar 7 dibawah menunjukkan nilai tahanan pentanahan untuk berbagai konfigurasi elektroda batang.

Grafik tahanan pentanahan berbagai konfigurasi elektroda



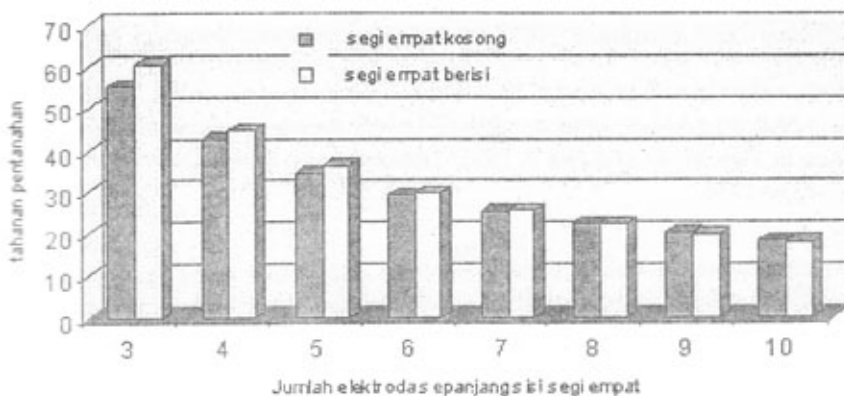
Gambar 7. Grafik Tahanan Pentanahan Untuk Berbagai Jenis Konfigurasi

Keterangan :

1. Satu batang elektroda ditanam dalam tanah
2. Satu batang elektroda ditanam beberapa cm dari permukaan tanah
3. Dua elektroda ditanam sejajar dengan permukaan tanah
4. Tiga elektroda ditanam sejajar membentuk geometris segitiga sama sisi
5. Delapan elektroda batang ditanam membentuk geometris segiempat

Gambar 8 memperlihatkan perbedaan tahanan pentanahan antara segi empat Kosong dan berisi.

Grafik tahanan pentanahan antara konfigurasi segi empat kosong & berisi



Gambar 8. Grafik Tahanan Pentanahan antara Konfigurasi Segi Empat Kosong Dan Berisi

Jadi pada penelitian ini terlihat bahwa konfigurasi penanaman elektroda dapat mempengaruhi nilai pentanahan itu sendiri. Semakin banyak jumlah elektroda batang ditanam, semakin kecil nilai tahanan pentanahannya.



## KESIMPULAN

Tahanan pentanahan pada dasarnya bergantung pada tahanan jenis tanah, jika tahanan jenis tanah kecil, maka nilai tahanan pentanahan menjadi kecil, sebaliknya jika tahanan jenis tanah besar, maka tahanan pentanahan menjadi besar pula. Data sampel memperlihatkan bahwa tahanan jenis minimum 309,66 ohm-meter di RT Banyumanik (SR4-54) memberikan nilai tahanan pentanahan 89,07 ohm dan tahanan jenis tertinggi 1861,80 ohm meter di RT Ambarawa (SA1-144) memberikan nilai tahanan pentanahan 535,51 ohm, untuk masing – masing menggunakan satu elektroda ditanam dalam tanah.

Konfigurasi penanaman elektroda batang mampu mereduksi besarnya tahanan pentanahan, semakin banyak elektroda batang ditanam dalam tanah, maka semakin kecil nilai tahanan pentanahannya, hal ini terlihat dari hasil penelitian dimana jika satu elektroda ditanam beberapa cm saja dari permukaan tanah, mampu mereduksi 11% penurunan tahanan pentanahan, dengan dua elektroda sejajar ditanam dalam tanah, dapat mereduksi 30% tahanan pentanahan, dengan tiga buah elektroda batang membentuk susunan geometris segitiga, dapat mereduksi 47%, sedangkan susunan segi empat yang terdiri dari 4 buah elektroda batang mampu mereduksi nilai tahanan pentanahan sekitar 67%

Penanaman elektroda batang pada tanah yang memiliki 2 jenis tahanan permukaan berbeda secara signifikan mempengaruhi nilai tahanan pentanahannya, perlu diperhitungkan secara cermat kedua tahanan jenis tersebut, sehingga akan diperoleh disain konfigurasi yang memenuhi persyaratan

## DAFTAR PUSTAKA

- Tajudin, 1998, "*Elektroda Batang Mereduksi Nilai Tahanan Pentanahan*", Jurnal Elektro Edisi 15.
- T.S. Hutaaruk, 1991, "*Pengetahuan Netral Sistem Tenaga & Pengetahuan Peralatan*", Penerbit Erlangga Jakarta.
- Y.L. Chow, M.M.A. Salama, 1994, "*A Simplified Method for Calculating The Substation Grounding Grid Resistance*", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol 9 No.2 pp 736 – 742.
- Y.L. Chow, M.M., Elsherbiny, M.M.A. Salama, 1996, "*Resistance Formula of Grounding System in Two Layer of Earth* ", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol 11, No. 3, pp.1330-1336.

880