

SIMULASI PERANCANGAN SUDUT PERLINDUNGAN PERISAI PADA PENYULANG DENGAN KAWAT TANAH BERBASIS *SOFTWARE* GEOGEBRA

**I Gede Suputra Widharma¹, I Nengah Sunaya², I Gusti Putu Arka³,
I Gde Nyoman Sangka⁴**

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali
¹suputra@pnb.ac.id

Abstrak: Simulasi penelitian ini dilaksanakan pada penyulang Sempidi yang merupakan salah satu penyulang pada Gardu Induk Kapal. Simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan sudut perlindungan perisai yang paling optimal dalam mengamankan saluran transmisi pada penyulang yang menggunakan kawat tanah. Simulasi ini memanfaatkan program komputer untuk memvisualisasikan dan mendemonstrasikan konsep geometri yaitu GeoGebra. *Software* ini bersifat dinamis dalam mengintegrasikan data pada penyulang seperti tinggi, travers, dan luas penampang kawat tanah. Sudut perlindungan perisai yang paling optimal diperoleh adalah 41° dan 29° terhadap bidang horizontal (sumbu x). Dengan memanfaatkan GeoGebra dapat ditunjukkan bahwa sudut penyulang telah dipasang sesuai standar dan merupakan sudut yang optimal dalam saluran transmisi tersebut.

Kata kunci: Sudut Perlindungan, Perisai, Penyulang, GeoGebra.

Abstract: *This research simulation has been done at Sempidi feeder which is one of many feeders in Kapal substation. This simulation aimed to obtain the optimal protection angle of shield to protect transmission line at the feeder that using ground wire. In this simulation, a computer program is used to visualize and demonstrate geometric concepts, named GeoGrab. This dynamic software provides features that can be effectively integrated into feeder data such as high, travers and cross-sectional area of ground wire. The most optimum protection angle of shield is 41° and 29° to horizontal area (the x-axis). Using GeoGebra, it can be shows that the angle feeder is installed according to the standard and is an optimal angle in the transmission line.*

Keywords: Protection Angle, Shield, Feeder, GeoGebra.

I. PENDAHULUAN

PT. PLN Distribusi Bali menggunakan penyulang / *feeder* 20 kV dengan 3 fasa 3 penghantar yang tersebar di seluruh wilayah Bali untuk menyediakan kebutuhan listrik di Bali. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan pada penyulang Sempidi dan sekitarnya menunjukkan bahwa saat terjadi petir di beberapa wilayah penyulang distribusi tenaga listrik beresiko terkena sambaran. Meski sudah dipasang pengaman, sistem juga dapat terganggu. Akibatnya terdapat gangguan pada penyulang / *feeder*, seperti: penghantar terputus, listrik padam, hingga transformator distribusi yang rusak [1]. Keandalan sistem distribusi perlu dijaga keberlanjutannya dalam meningkatkan efisiensi penyaluran daya [2]. Pentingnya memberikan sistem proteksi pada penyulang [3]. Dengan memasang kawat tanah sepanjang penyulang, dimana kawat tanah ini terpasang pada titik tertinggi dari saluran penyulang / *feeder* sebagai pengaman saluran terhadap petir. Oleh karena itu, pada wilayah penyulang / *feeder* yang rawan petir sudah mulai direalisasikan pemasangan kawat tanah ini, termasuk penyulang / *feeder* Sempidi [4]. Sudut perlindungan pada perisai (*shield*) yang optimal mampu meningkatkan kapasitas saluran transmisi [5].

Penelitian yang memanfaatkan *Software* GeoGebra sangat ideal dalam pembelajaran konsep-konsep perhitungan yang menuntut ketelitian tinggi. Penyelesaian grafik secara tepat, cepat, akurat, dan

terutama yang menyangkut transformasi geometri, kalkulus, statistika, dan grafik fungsi [6]. GeoGebra sangat bermanfaat sebagai media pembelajaran dengan beragam aktivitas sebagai media demonstrasi dan visualisasi [7]. *Software* ini baik digunakan sebagai media pembelajaran matematika khususnya geometri dan aljabar [8]. Adanya fasilitas animasi dan gerakan-gerakan manipulasi (*dragging*) pada program GeoGebra dapat memberikan tampilan visual yang lebih jelas dalam konsep geometri dan menunjukkan sifat-sifat yang berlaku pada suatu obyek geometri.

Pada penelitian ini *software* GeoGebra dimanfaatkan secara optimum dalam mendapatkan sudut perlindungan perisai (*shield*) yang optimal pada penyulang Sempidi dalam suatu simulasi serta proses konstruksi pemasangan kawat tanah yang optimal.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Rancangan Penelitian

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini melibatkan pengamatan langsung terhadap pemasangan kawat tanah pada penyulang Sempidi Gardu Induk Kapal. Penulis melakukan pengolahan terhadap data yang telah dikumpulkan dengan beberapa persamaan. Untuk menentukan pentanahan elektroda batang tunggal digunakan Persamaan (1).

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

dengan

R = tahanan pembumian elektroda batang [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [$\Omega.m$]

L = panjang batang yang tertanam [m]

d = diameter elektroda batang [m]

Untuk penentuan besar sudut yang efektif dalam mengamankan jaringan dari surja petir digunakan Persamaan (2).

$$tg \alpha = \frac{A}{t} \quad (2)$$

dengan

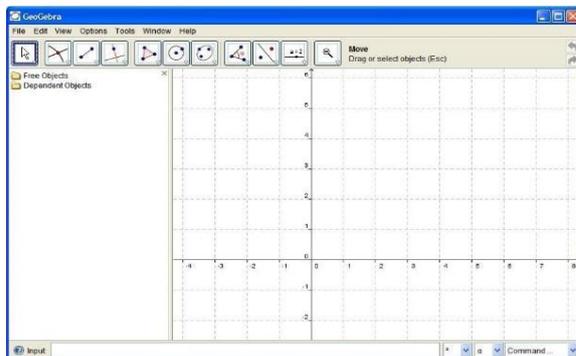
$tg \alpha$ = besar sudut pengamanan surja petir ($^{\circ}$)

t = tinggi/jarak penempatan kawat tanah dari sisi teratas *travers* (cm)

A = jarak penghantar terjauh dengan as penyangga kawat tanah (cm)

2.2. Software GeoGebra

Perkembangan ilmu pengetahuan yang sangat pesat dan juga sejalan dengan berkembangnya teknologi yang semakin canggih sangat berpengaruh dan memberi manfaat dalam kehidupan. Berbagai pemanfaatan GeoGebra dalam pemodelan sistem dimaksudkan untuk mendukung dan memfasilitasi pengguna dalam memahami konsep-konsep geometri dan aljabar. Program GeoGebra sangat bermanfaat untuk mengkreasi lingkungan belajar *online* interaktif yang memungkinkan untuk mengeksplorasi berbagai konsep-konsep. Menu utama GeoGebra adalah: *File, Edit, View, Option, Tools, Windows, dan Help* untuk menggambar obyek-obyek geometri.



Gambar 1. Menu GeoGebra

Program GeoGebra dimanfaatkan untuk menemukan bahwa dua sudut yang saling bertolak belakang dan menyelesaikan persamaan linier dua variabel yang ditemukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Penyulang Sempidi Gardu Induk Kapal

Penyulang Sempidi yang merupakan salah satu penyulang pada Gardu Induk Kapal merupakan penyulang yang mencakup wilayah luas dan padat.

Berikut pada Tabel 1 adalah spesifikasi pada penyulang tersebut.

Tabel 1. Data penyulang Sempidi [9]

| Komponen | Ukuran |
|---------------------------|------------------|
| Panjang JTM | 47.771,41 meter |
| Panjang JTR | 10.1497,04 meter |
| Kapasitas GD | 15.695 KVA |
| Jumlah Trafo GD | 79 buah |
| Jumlah GD | 77 buah |
| Jumlah tiang TM | 980 buah |
| Jumlah tiang TM dengan PE | 104 buah |
| Jumlah tiang TR | 2.763 buah |
| Pelanggan TM | 10 unit |
| Panjang sambungan TM | 0 |
| Total beban TM | 9.480.000 VA |
| Jumlah sambungan TM | 10 buah |
| Pelanggan TR | 30.190 unit |
| Panjang sambungan TM | 386.230 meter |
| Beban TR | 58.425.040 VA |
| Jumlah sambungan TR | 30.190 buah |

Dalam perencanaan awal penyulang Sempidi, PLN Distribusi Bali menggunakan sistem jaringan 3 fasa dengan 3 kawat, dimana pada saat itu sambaran petir dianggap tidak langsung mengenai jaringan. Namun dilihat dari data gangguan sebelum terpasangnya kawat tanah, terdapat sejumlah gangguan akibat petir dalam beberapa tahun terakhir. Untuk itu diperlukan pemasangan alat perlindungan (perisai) yang terhubung pada elektroda yang terpasang. Data elektroda batang yang terpasang pada penyulang Sempidi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data elektroda batang yang terpasang [9]

| Dimensi | Ukuran |
|----------------------------|---|
| Panjang (L) | 3 meter |
| Diameter | 2 cm (1,5 cm diameter baja dengan 0,25 cm tapan tembaga) |
| Tahanan Jenis Tanah | 40 Ωm (tanah berair) dan 100 Ωm (tanah pertanian) |
| Elektroda batang terpasang | 24 buah |

3.2. Perhitungan Sudut Pengamanan Pengantar Fasa Terhadap Surja Petir

Sudut perlindungan pada penyulang yang biasa disebut dengan perisai (*shield*) dapat dihitung dengan Persamaan (2). Perhitungan sudut konstruksi tiang awal (130 cm) dan akhir (150 cm) dengan kawat tanah dilakukan sebagai berikut.

$$tg \alpha = \frac{130}{150}$$

$$\alpha = 41^{\circ}$$

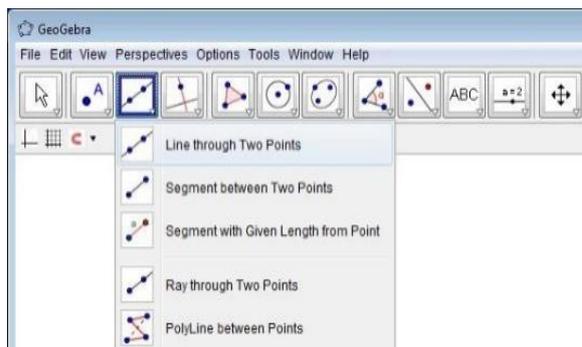
Sedangkan perhitungan sudut konstruksi titik pusat sumbu kawat tanah (80 cm) dengan tiang dilakukan sebagai berikut.

$$tg \alpha = \frac{80}{150}$$

$$\alpha = 29^\circ$$

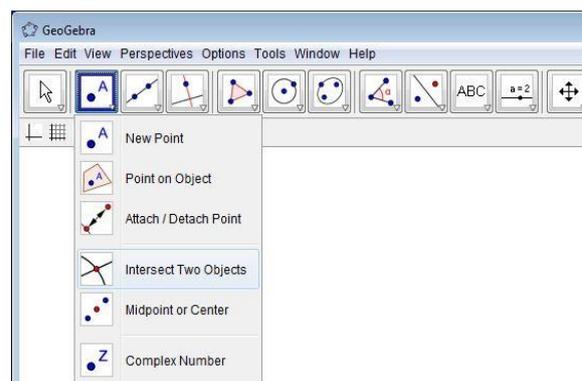
3.3. Pemanfaatan GeoGebra Dalam Simulasi Sudut Pengaman

GeoGebra dalam memvisualisasi dan mendemonstrasikan secara geometri pembentukan sudut 41° dan 29° . Dalam menghitung sudut pengaman perlu dibuat simulasi sudut yang diawali dengan membuat dua garis yang saling berpotongan dengan *tool line through two points* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



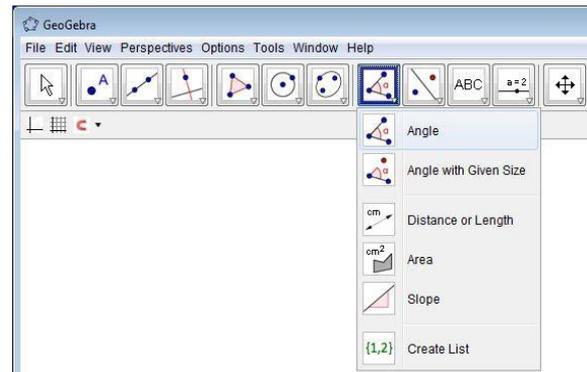
Gambar 2. Pembuatan garis pada GeoGebra

Setelah membuat garis-garis penghubung, maka prosedur dilanjutkan dengan menentukan titik potong kedua garis tersebut yang akan membentuk sudut. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.



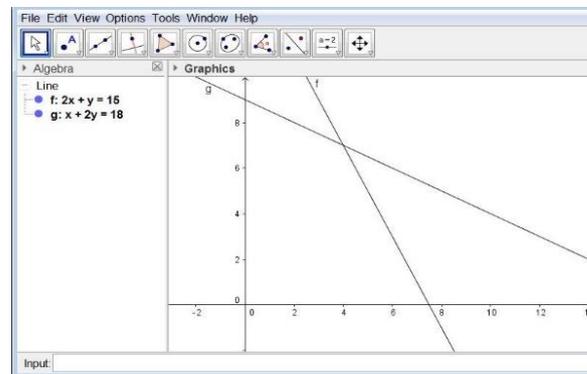
Gambar 3. Pembuatan garis pada GeoGebra

Kemudian dengan memanfaatkan *tool angle* pada *software* GeoGebra dapat ditentukan besar sudut yang terbentuk seperti pada Gambar 4. Setelah langkah-langkah di atas dilaksanakan, maka sudut optimal dapat diperoleh dengan cara menggeser atau menggerakkan titik A ke beberapa arah dan mengukur sudut yang terbentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Penentuan besar sudut perisai

Dengan menggerakkan titik A dan titik B ke beberapa posisi akan diperoleh sudut-sudut yang optimal dan kemudian membandingkan sudut-sudut yang diperoleh dengan sudut-sudut hasil perhitungan.



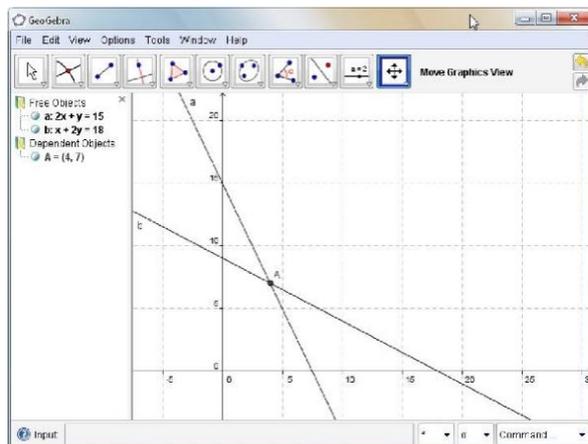
Gambar 5. Pemilihan sudut optimal

Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran sudut yang diperoleh dari simulasi GeoGebra.

Tabel 3. Penentuan sudut perisai optimal

| Uji ke | Sudut Titik A | Bentukan Titik B | Keterangan |
|--------|------------------|---------------------|---------------|
| 1 | 25 | 45 | Belum Optimal |
| 2 | 27 | 43 | Belum Optimal |
| 3 | 29 | 41 | Belum Optimal |
| 4 | 30 | 40 | Belum Optimal |
| 5 | 33 | 38 | Belum Optimal |
| 6 | 35 | 36 | Belum Optimal |
| 7 | 37 | 33 | Belum Optimal |
| 8 | 38 | 30 | Belum Optimal |
| 9 | 40 | 29 | Sudah Optimal |
| 10 | 41 | 29 | Sudah Optimal |
| 11 | 41 | 28 | Sudah Optimal |
| 12 | 43 | 27 | Sudah Optimal |
| 13 | 44 | 27 | Sudah Optimal |
| 14 | 45 | 26 | Belum Optimal |
| 15 | 47 | 25 | Belum Optimal |
| 16 | 47 | 25 | Belum Optimal |
| 17 | 48 | 24 | Belum Optimal |
| 18 | 49 | 23 | Belum Optimal |
| 19 | 49 | 23 | Belum Optimal |
| 20 | 50 | 22 | Belum Optimal |
| 21 | 51 | 21 | Belum Optimal |

Dari hasil simulasi pengukuran sudut yang terbentuk sebagian besar belum optimal karena sudut-sudut tersebut menyebabkan konstruksi tidak setimbang. Pengujian ke 9 hingga ke 13 sudah optimal karena membentuk konstruksi yang setimbang antara perbandingan sumbu tegak dan sumbu mendatar terhadap kawat tanah yang dipasang seperti pada Gambar 6. Dari 5 pengujian yang sudah optimal tersebut terdapat pengujian ke 10 yang sesuai dengan hasil perhitungan melalui Persamaan (2).



Gambar 6. Sudut optimal pada simulasi

3.4. Penentuan Penampang Penghantar

Dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), ditetapkan bahwa dalam pemasangan penghantar pembumihan digunakan jenis penghantar BC (*bare copper*) dengan luas penampang minimal 50 mm². Melalui penentuan luas penghantar, dapat dilakukan perbandingan dari kemampuan hantar arus (KHA) penghantar yang disyaratkan. KHA penghantar BC dengan penampang 50 mm² adalah 250 A. Dari KHA tersebut dapat ditentukan luas penampang.

Dilihat dari sistem pentanahan kawat tanah yang terpasang pada penyulang Sempidi menggunakan elektroda batang, dimana kawat tanah diketanahkan setiap 5 GW (giga watt). Pentanahan ini terpasang dengan tahanan terkecil 10,84 Ohm dan tahanan terbesar 23,24 Ohm. Meski dapat diterima, sebaiknya dilakukan sistem pentanahan sebaik mungkin agar diperoleh perlindungan yang lebih baik. Persamaan (1) dapat digunakan untuk melakukan proses perhitungan resistansi tanah. Nilai pentanahan maksimum 5 Ohm, dapat diperoleh dengan menggunakan elektroda batang yang memiliki panjang 6 m dan luas penampang 3 cm². Jika masih belum memenuhi, maka dapat digunakan sistem pentanahan paralel. Untuk memperoleh nilai tahanan di bawah 5 Ohm, maka digunakan 3 buah batang elektroda.

3.5. Analisis Pemasangan Kawat Tanah

Pemasangan kawat tanah ini menyebabkan penurunan jumlah gangguan surja petir langsung terhadap penghantar fasa SUTM 20 KV yang terjadi pada penyulang Sempidi menurun. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan pemasangan kawat tanah

pada bagian teratas SUTM, sebagai perlindungan SUTM terhadap sambaran petir langsung dengan memperhitungkan sudut perisai perlindungan, luas penampang kawat yang digunakan, sistem pembumiannya dan juga konstruksi.

3.6. Keamanan Penghantar Fasa Terhadap Sambaran Petir Langsung

Dari perhitungan sudut perlindungan, maka dapat diketahui wilayah perisai untuk melindungi penghantar-penghantar fasa yang berada di bawahnya. Untuk tinggi pemasangan kawat tanah 185 cm dan jarak penghantar fasa dengan sumbu sejauh 130 cm dan 80 cm sudah memenuhi wilayah perlindungan, dengan sudut perlindungan maksimal 45° dan dalam perencanaan setelah dihitung dengan tinggi pemasangan kawat tanah 185 cm jarak penghantar fasa dengan sumbu sejauh 130 cm dan 80 cm dari *travers* (tempat sangkutan atau dudukan isolator sehingga dapat memisahkan fasa pada saluran transmisi) sudah memasuki wilayah aman penghantar fasa dengan sudut penempatan penghantar fasa 41° serta 29° dari titik pemasangan kawat tanah.

3.7. Besar Penampang Penghantar Kawat Tanah

Dalam menentukan besar penampang yang digunakan untuk kawat tanah, pada perencanaan, PT. PLN menggunakan perbandingan dari penghantar BC dengan luas penampang 50 mm² menjadi penghantar AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) dengan luas penampang 70 mm². Ukuran tersebut diperoleh dari perbandingan KHA kedua jenis penghantar tersebut. Sedangkan kawat tanah yang terpasang adalah jenis penghantar AAAC dengan luas penampang 35 mm², 50 mm² dan 70 mm². Hal tersebut diperoleh dari besarnya arus gangguan akibat sambaran petir langsung pada lokasi pemasangan penghantar.

Pada sistem pentanahan kawat tanah ini digunakan elektroda batang sebagai penetralisir arus sambaran petir ke bumi dengan konfigurasi paralel beberapa elektroda batang sejumlah 2-3 elektroda pada masing-masing titik pentanahan, dengan batang elektroda yang memiliki ukuran panjang 6 meter dan luas penampang 3 cm² sehingga diperoleh nilai pentanahan di bawah 5 Ohm.

3.8. Konstruksi Pemasangan Kawat Tanah

Agar memenuhi standar pemasangan kawat tanah, ketentuan dan standar pengamanan terhadap sambaran petir langsung harus terpenuhi sehingga mencapai tujuan yang diharapkan. Konstruksi yang baik untuk digunakan pada penyulang Sempidi kawat tanah adalah pada jarak antara titik pusat sumbu terhadap tiang karena lingkungannya lebih terbuka.

IV. KESIMPULAN

Simulasi dengan *software* GeoGebra untuk mendapatkan sudut perlindungan (perisai) yang optimal pada SUTM menghasilkan sudut sebesar 41° dan 29°. Dalam menentukan besar penampang yang

digunakan untuk kawat tanah, PT. PLN menggunakan perbandingan KHA antara kedua jenis penghantar yang terpasang dengan standar. Pembuatan konstruksi kawat tanah ini sudah sesuai dengan standar yang diharapkan. Pemasangannya menggunakan konstruksi awal dan akhir penyangga kawat tanah serta konstruksi kawat tanah titik pusat sumbu dengan tiang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sunaya, I N. (2013). Analisa pengaruh pemasangan kawat tanah terhadap gangguan surja petir pada sistem distribusi saluran udara tegangan menengah 20 KV. *Logic*, 13(2), 121-126.
- [2] Widharma, I G. S. & Sunaya, I N. (2015). Analisis menentukan keandalan system distribusi dengan pemanfaatan algoritma genetika berbasis pemrograman matlab. *MATRIX*, 5(1), 19-26.
- [3] Arka, I G. P. & Mudiana, N. (2013). Studi pengaruh pemasangan sistem proteksi rele terhadap kemungkinan gangguan sympathetic tripping pada suatu penyulang. *Logic*, 13(3), 142-147.
- [4] Sajayasa, I M., Widharma, I G. S. & Arka, I G. P. (2013). Studi pemodelan sistem proteksi kawat tanah dengan metode sudut perlindungan (perisai) terhadap gangguan surja petir berbasis diagram lattice. *MATRIX*, 3(2), 66-71.
- [5] Widharma, I G. S., Sunaya, I N., Arka, I G. P. & Sajayasa, I M. (2017). Effect of using ground wire to lightning surge interference at 20 kV medium voltage distribution system based on genetics algorithm. *IRJEIS*, 3(2), 55-64.
- [6] Kusumah, Y. S. (2003). *Desain dan pengembangan bahan ajar matematika interaktif berbasis teknologi komputer*. Proceeding Seminar Nasional UPI Bandung.
- [7] Hohenwarter, M., Hohenwater, J. Kreis, Y. & Lavicza, Z. (2008). *Teaching and learning calculus with free dynamic mathematics software GeoGebra*. ICME11-TSG16.
- [8] Akhirni, A. & Mahmudi, A. (2015). Pengaruh pemanfaatan Cabri 3D dan GeoGebra pada pembelajaran geometri ditinjau dari hasil belajar dan motivasi. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 3(2), 91-99.
- [9] PT. (Persero) PLN P3B Jawa Bali. (2005). Modul pelatihan relai OCR. Jakarta: Badan Penerbit PLN.