

**PENGARUH TAHANAN KAKI MENARA SALURAN TRANSMISI 150 KV
TERHADAP TEGANGAN LEBIH TRANSIENT AKIBAT SURJA PETIR
DENGAN MENGGUNAKAN *ELEKTROMAGNETIC TRANSIENTS PROGRAM* (EMTP)
(GI KILIRIANJAO – GI MUARO BUNGO)**

Dasman¹⁾, Rudy Harman²⁾

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang ^{1,2)}
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang
Telepon (0751)7055202
E-mail : idaihsaja@yahoo.co.id¹⁾

Abstrak

Petir merupakan suatu fenomena alam yang menjadi ancaman terhadap penyaluran daya listrik, khususnya pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV (SUTT 150 kV) GI Muaro Bungo-Killiranjao, mengingat daerah yang dilalui adalah daerah pegunungan, perbukitan, dan dataran yang mudah disambar petir. Penulisan karya ini meneliti masalah surja petir yang menyambar kawat tanah pada saluran terhadap kondisi peralatan di GI Muaro Bungo-Killiranjao yang berjarak 117,07 km. Proses simulasi dilakukan dengan EMTP (Electromagnetic Transients Program). Pada hasil penelitian ini didapatkan bahwa pada nilai tahanan kaki menara 3,79 Ω terukur tegangan di trafo yaitu sebesar 140,8 kV, dan pada saat nilai tahanan kaki menara 10,6 Ω didapat nilai tegangan pada trafo sebesar 170,95 kV. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar tahanan kaki menara akan mengakibatkan tegangan lebih yang semakin besar.

PENDAHULUAN

Saluran transmisi memegang peranan penting yang sangat vital dalam proses penyaluran daya dari pusat-pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Agar dapat melayani kebutuhan tersebut maka diperlukan sistem tenaga listrik yang handal dengan tingkat perlindungan yang memadai.

Didalam saluran transmisi yang sering terjadi diakibatkan oleh gangguan sambaran petir ke kawat fasa. Untuk mengatasi hal-hal seperti ini maka diusahakanlah suatu perlindungan dengan memakai satu atau dua buah kawat tanah yang terletak diatas kawat fasa, kawat tanah ini diturunkan melalui tiang menara dengan memakai tahanan yang ditanam dibawah kaki menara. Dengan demikian kemungkinan terjadinya loncatan api karena sambaran petir secara langsung dapat diabaikan.

Apabila terjadinya loncatan balik (*back flash over*) karena sambaran kilat secara langsung pada puncak menara, maka yang harus diperhatikan pada sistem perlindungan ini adalah dengan mengurangi tahanan kaki menara. Untuk mengurangi loncatan balik ini maka tahanan kaki menara harus dibuat ± 10 ohm. Tahanan kaki menara ± 10 ohm dapat diperoleh dengan menggunakan satu atau lebih pengetanahan yang telah digalvanisasikan. Riset ini akan membahas pengaruh

tahanan kaki menara saluran transmisi terhadap tegangan lebih transient akibat surja petir. Sebagai studi kasus disini penulis mengambil lokasi penelitian di GI Killiranjao – GI Muaro Bungo.

Batasan Masalah

Penelitian ini menghitung seberapa besar kenaikan tegangan akibat sambaran petir pada saluran transmisi dan bagaimana pengaruh penggunaan tahanan maksimum kaki menara tersebut terhadap tegangan lebih transient.

Perumusan Masalah

Agar ruang lingkup permasalahan tidak terlalu luas dan mengambang, maka penulis membuat batasan-batasan masalah sebagai berikut:

- Memperhatikan pengaruh penggunaan tahanan kaki menara saluran transmisi terhadap tegangan lebih.
- Untuk mengetahui seberapa jauh tegangan lebih transient yang ditimbulkan oleh surja petir.
- Metode penyelesaian terhadap pemodelan simulasi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak EMTP (Electromagnetic Transients Program).

Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Elektro

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh tahanan kaki menara saluran transmisi terhadap tegangan lebih transient akibat surja petir.

Manfaat Penelitian

Setelah melakukan penelitian ini, diharapkan penelitian ini dapat mewujudkan hal-hal berikut:

- Memberikan pemahaman secara umum dalam mengidentifikasi persoalan operasi sistem tenaga listrik pada saat terjadi gangguan, sehingga memiliki solusi penanggulangan yang lebih efektif dan efisien.
- Memberikan Pengetahuan dalam mengantisipasi gangguan yang disebabkan oleh petir pada saluran transmisi.
- Dapat menganalisa hasil yang diperoleh dari simulasi sesuai dengan karakteristik tegangan lebih yang terjadi pada saluran transmisi.

STUDI LITERATUR

Gangguan petir yang terjadi pada saluran akan menimbulkan gejala transien kelistrikan, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada sistem tenaga listrik yang ada, karena adanya gangguan yang secara tiba-tiba.

Dalam pengoperasiannya, sistem tenaga listrik mempunyai kemungkinan akan terjadinya suatu gangguan. Segala macam bentuk kesalahan yang terjadi, sehingga menyebabkan terganggunya proses aliran arus yang normal dapat digolongkan kepada gangguan. Gangguan yang terjadi saat sistem sedang beroperasi bisa menimbulkan kerusakan pada peralatan maupun sistem itu sendiri, mulai dari sistem pembangkitan, saluran transmisi hingga saluran pendistribusian ke beban.

Penelitian yang berhubungan dengan gangguan petir telah dilakukan oleh beberapa peneliti, demikian juga yang menggunakan EMTP untuk mensimulasikan keadaan transien, yang diantaranya adalah :

- K.T sirait dan R. Zoro, “Perlindungan terhadap tegangan lebih pada sistem tenaga listrik” membahas tentang perilaku kilat (gangguan kilat).
- Yanuar Z. Arief (1998), “analisis transien akibat surja petir pada gardu induk tegangan ekstra tinggi dengan menggunakan Electromagnetic Transient Program” membahas tentang tegangan lebih transien yang terjadi pada gardu induk.
- Dommel, Herman W, EMTP Theory Book (1996), mengembangkan program EMTP yang merupakan program komputer untuk menyelesaikan permasalahan peralihan (transient).

- T.S. Hutaaruk (1991), “Gelombang berjalan dan proteksi surja”, gangguan kilat pada saluran transmisi adalah gangguan akibat sambaran kilat pada saluran transmisi, baik secara *langsung* maupun *tidak langsung* (sambaran induksi), dan menyebabkan terganggunya saluran transmisi itu mengantarkan daya listrik

METODOLOGI PENELITIAN

Salah satu cara untuk menganalisa besarnya tegangan akibat sambaran petir adalah dengan menggunakan simulasi EMTP (*Electromagnetic Transient Program*). EMTP adalah suatu program komputer terintegrasi yang didesain untuk menyelesaikan permasalahan peralihan (*transient*) pada sistem tenaga listrik untuk rangkaian terkonsentrasi (*lumped*), rangkaian terdistribusi atau kombinasi dua rangkaian tersebut. Program versi ini pertama kali dikembangkan oleh H. M. Dommel di *munich institute of technology* pada awal tahun 1960-an. H. M. Dommel melanjutkan pekerjaannya tersebut di BPA (*bonneville power administration*) dan bekerja sama dengan dengan S. Meyer. Selanjutnya H. M. Dommel mengembangkan program ini di *University of british columbia*.

Sekitar tahun 1980, EMTP menjadi program yang diminati oleh perusahaan listrik. EMTP DCG (*development coordinating group*) bekerja sama dengan EFRI (*electric power research industry*) untuk pengembangan EMTP.

Seperti disebutkan diatas, EMTP lebih ditekankan untuk menyelesaikan persoalan transien pada sistem tenaga listrik, walaupun demikian ini juga dapat menyelesaikan persoalan tenaga dalam keadaan tunak. EMTP dapat digunakan untuk menganalisa transien pada rangkaian yang mengandung parameter terkonsentrasi (R, L, dan C), saluran transmisi dengan parameter terdistribusi, saluran yang transposisi atau saluran yang tidak di transposisi. EMTP sangat baik digunakan untuk menganalisa transien pada operasi *switching surge* dan *lightning surge* karena program ini menyediakan fasilitas pemodelan untuk generator, CB, transformator, arester, sumber surja petir, dan pemodelan saluran yang tergantung frekuensi maupun tidak (dommel, 1996).

SIMULASI SURJA PETIR PADA JARINGAN SUTT 150 KV GI KILIRANJAO-GI MUARO BUNGO

Simulasi dilakukan dengan memodelkan saluran sesuai dengan representasi peralatan atau komponen listrik yang ada. Pada simulasi ini pelepasan beban pertama dilakukan pada sisi GI Kiliranjao 150 KV. Gangguan terjadi pada kawat tanah dan sambaran petir yang terjadi pada menara dengan memvariabelkan tahanan kaki menara tersebut.

Diagram Simulasi

Simulasi dilakukan pada keadaan awal sebelum sambaran petir terjadi. Dan perhitungan tegangan setelah terjadi sambaran petir pada kawat tanah dan menara. Dari hasil simulasi diamati tegangan lebih pada menara.

Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam simulasi ini adalah sebagai berikut:

- Menara saluran transmisi adalah type standar.
- Saluran transmisi berupa parameter terdistribusi tergantung frekuensi.
- Surja petir diinjeksikan pada kawat tanah berupa sumber arus dengan tahanan paralel 400 ohm.
- Bentuk gelombang arus surja petir $\frac{8}{20} \mu s$
- Saluran transmisi berupa parameter terdistribusi tergantung frekuensi
- Sambaran petir terjadi pada salah satu menara dari Saluran SUTT 150 kV Kiliranjao – Muaro Bungo
- Saluran yang masuk hanya dari Kiliranjao 1 dan Kiliranjao 2

MODEL RANGKAIAN

EMTP menyediakan secara representasi peralatan atau komponen listrik yang digunakan dalam pensimulasian. Khususnya untuk tegangan transient yang disebabkan oleh petir, pemodelan dari saluran dan peralatan yang digunakan sebagai berikut:

- saluran transmisi dimodelkan sebagai parameter terdidtribusi tergantung pada frekuensi dengan menggunakan sub J Marti Set Up, sebagai masukan untuk ini adalah data geometris saluran dan dimensi penghantar fasa dan kawat tanah.
- Generator dimodelkan dengan sumber tegangan sinusoidal.
- Menara transmisi dimodelkan sebagai saluran gelombang berjalan dengan harga impedansi surja yang sesuai dengan konstruksinya.
- Beban yang tersambung pada sisi tegangan rendah trafo dinyatakan dalam MVA, pemodelan beban tersebut dilakukan dengan mengkonversikan harganya menjadi R dan XL. Nilai-nilai ini didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$Z = \frac{(kV^2) < \theta}{MVA} \quad Z = R + jXL$$

- Transformator dimodelkan dengan harga R dan XL.
- Impedansi sumber didapatkan dengan melakukan hubungan singkat di GI sehingga didapatkan kontribusi arus masing-masing sumber, dari data tersebut diperoleh impedansi masing-masing. Nilai impedansi yang didapatkan:

$$Z_s = \left[\frac{I}{I_{cs}} \times \frac{kV^2}{MVA} \right] < \partial$$

- Harga-harga komponen listrik lainnya seperti R, L, C dimasukan sesuai dengan harga masing-masing didalam kolom yang telah ditentukan dalam EMTP.
- Transformator dipresentasikan dalam bentuk R dan L, sedangkan admitansi shunt diabaikan.
- Sambaran petir dimodelkan dengan arus petir
- Transformator dimodelkan dengan harga kapasitansi
- Arrester dimodelkan dengan tahanan non linear dengan karakteristik *Metal Oxide Arrester* (ZnO)
- Isolator saluran dipresentasikan dengan harga kapasitansinya dan paralel dengan spark gap (*arcing horn*)
- Arcing horn dimodelkan dengan saklar yang dikontrol tegangan, tegangan dimasukan sebagai input saklar ini disesuaikan dengan BIL dari *arcing horn* yang digunakan
- *Circuit Breaker* (CB), *Disconnecting Switch* (DS), *Capacitor Voltage Transformer* (CVT), *Current Transformer* (CT), *Bus Support* (BS), direpresentasikan dengan harga kapasitansinya, yaitu;

- CB	= 150 Pf,	- DS	= 200 pF,
- CVT	= 5000 pF,	- BS	= 120 pF
- CT	= 680 pF,		

Dari variabel-variabel yang ingin didapatkan sebagai keluaran dengan bantuan Electromagnetic Transients Program dalam analisa ini adalah: besarnya tegangan lebih transients atau tegangan puncak peralatan yang terjadi akibat pengaruh peletakan lightning arrester yang berpengaruh pada transformator daya.

HASIL PENELITIAN

Simulasi Surja Petir Pada SUTT 150 Kv

Pada simulasi ini yang akan dibahas adalah surja petir yang terjadi pada saluran transmisi pada menara yang berada antara GI Kiliranjao - GI Muaro Bungo. Untuk saluran terdistribusi tegangan menengah, justru sambaran tidak langsung yang banyak mengakibatkan gangguan. Satuan gangguan akibat sambaran petir diberikan dalam jumlah gangguan per 100 km per tahun.

Pada simulasi ini saat terjadinya sambaran petir arus gangguan yang terjadi diambil parameter maksimum supaya mudah untuk memberikan perbandingannya. Tahanan kaki menara yang digunakan yaitu 3.79 Ω , 5 Ω , 7 Ω , 9 Ω , 10 Ω , 10.6 Ω , dan 10.7 Ω . Dengan adanya simulasi ini dapat menentukan pengaruh masing-masing tahanan kaki menara terhadap tegangan lebih surja petir.

Dengan mengasumsikan hanya sambaran petir vertikal yang mengenai saluran. Daerah yang biasa dianggap aman adalah 30⁰ disebelah bidang tegak dibawah kawat tanah, jadi saluran daya harus disebelah bidang tegak

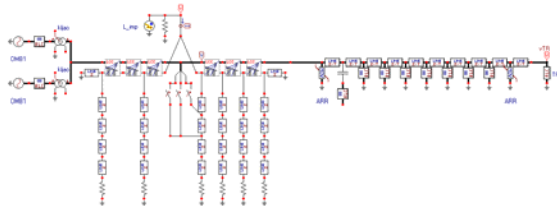
Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Elektro

dibawah kawat tanah, jadi saluran daya harus berada dalam sector 60^0 ini.

Menurut Anderson bahwa jumlah sambaran pada saluran dekat menara diperoleh 60% dari seluruh sambaran yang mengenai saluran transmisi, sedangkan sisanya sebesar 40% dianggap menyambar kawat tanah jauh dari menara sepanjang gawang dengan perbandingan 30% pada seperempat gawang dan 10% pada pertengahan gawang.

Keadaan Surja Petir

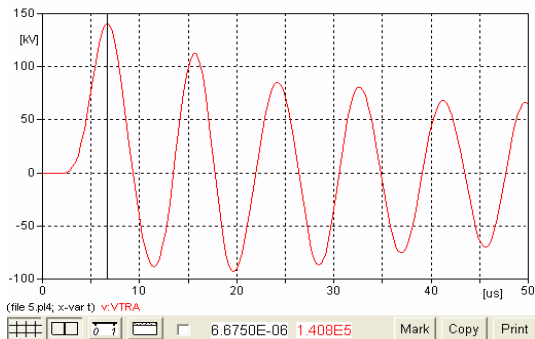
Simulasi dilakukan dengan mengasumsikan sambaran petir terjadi pada kawat tanah transmisi dengan tahanan kaki menara 3.79 Ω , 5 Ω , 7 Ω , 9 Ω , 10 Ω , 10.6 Ω , dan 10.7 Ω . Besarnya arus petir yang diasumsikan dengan pemrograman adalah arus maksimum petir yang terjadi untuk daerah Kiliranjao-Muaro Bungo yang mencapai 20 kA. Bentuk rangkaian simulasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



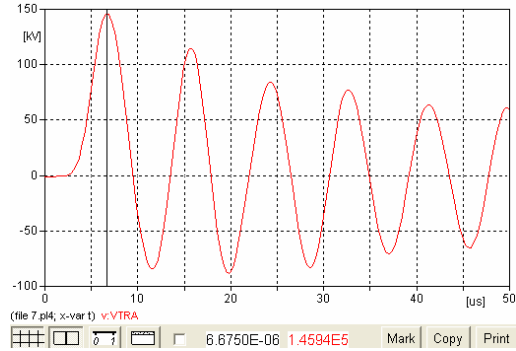
Gambar 1. Rangkaian simulasi surja petir (GI Kiliranjao – GI Muaro Bungo)

Pada daerah puncak menara berdasarkan perhitungan yaitu 7,556MV, sedangkan pada saat surja petir menyambar tegangan maksimum berdasarkan simulasi adalah 7,999 MV.

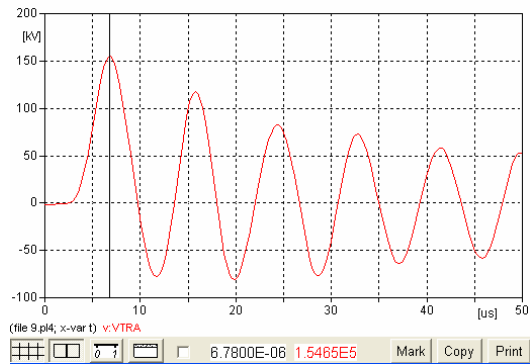
Untuk menentukan pengaruhnya tahanan kaki menara terhadap tegangan lebih surja petir dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



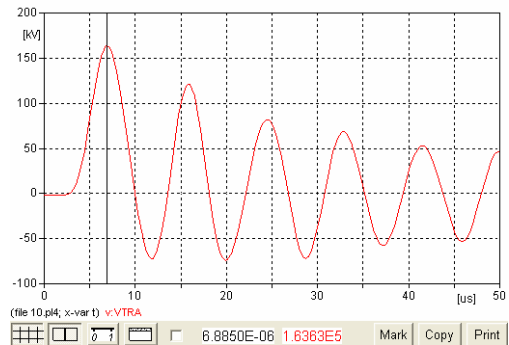
Gambar 2. Profil tegangan pada transformator daya dengan tahanan kaki menara 3.79 Ω



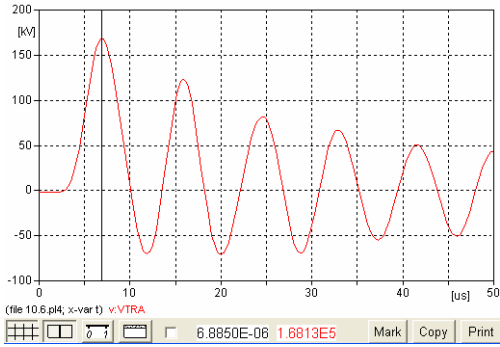
Gambar 3. Profil tegangan pada transformator daya dengan tahanan kaki menara 5 Ω



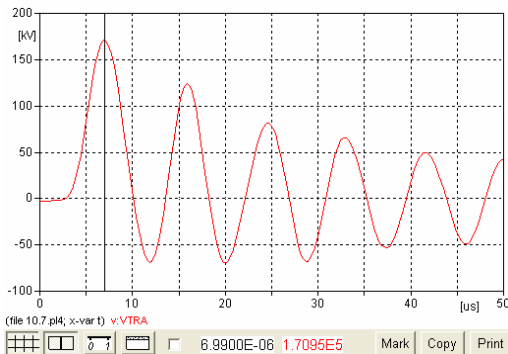
Gambar 4. Profil tegangan pada transformator daya dengan tahanan kaki menara 7 Ω



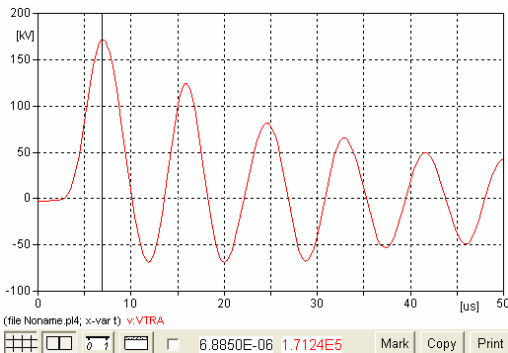
Gambar 5. Profil tegangan pada transformator daya dengan tahanan kaki menara 9 Ω



Gambar 6. Profil tegangan pada transformator daya dengan tahanan kaki menara 10 Ω



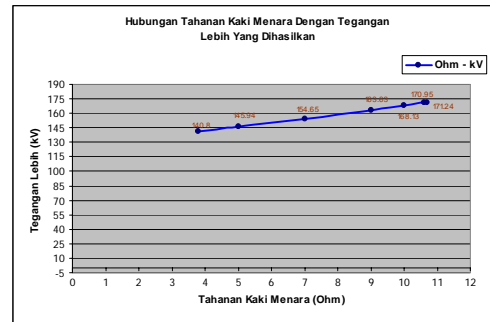
Gambar 7. Profil tegangan pada transformator daya dengan tahanan kaki menara 10,6 Ω



Gambar 8. Profil tegangan pada transformator daya dengan tahanan kaki menara 10,7 Ω

Tabel 1. Hubungan tahanan kaki menara dengan tegangan lebih yang dihasilkan

TAHANAN KAKI MENARA (Ohm)	TEGANGAN LEBIH (kV)
3,79	140,8
5	145,94
7	154,65
9	163,63
10	168,13
10,6	170,95
10,7	171,24



Grafik 1. Hubungan tahanan kaki menara dengan tegangan lebih yang dihasilkan

Pada saat sambaran surja petir mengenai kawat tanah akan membangkitkan gelombang arus dan tegangan yang berjalan merambat sepanjang kawat tanah. Ketika gelombang tersebut mencapai menara, dimana impedansi saluran berubah atau hubungan impedansi terputus, gelombang tersebut akan dipantulkan kembali menuju titik sambaran.

Pada menara selain dipantulkan gelombang tersebut diteruskan kebawah tanah dan kearah sisi lain dari kawat tanah menuju menara terdekat. Penjalaran gelombang arus dan tegangan sepanjang kawat tanah ini akan membangkitkan induksi pada kawat fasa.

Gelombang yang datang dan dipantulkan ataupun diteruskan akan mengakibatkan timbulnya beda potensial antara penghantar fasa dengan kawat tanah, penghantar fasa dengan sisi menara yang dihubungkan dengan ujung isolator. Jika beda potensial yang dibangkitkan melebihi kekuatan isolasinya maka *flash over* akan terjadi disekitar isolator atau disebut juga dengan *back flash over*. Untuk mengurangi gangguan akibat dari *back flash over* maka yang harus diperhatikan adalah tahanan kaki menara, jenis tanah dll.

Dengan menampilkan simulasi pada masing-masing nilai resistansi tahanan kaki menara bahwa saat terjadinya sambaran petir pada kawat tanah dengan nilai tegangan transient maksimum akan dipengaruhi oleh nilai tahanan kaki menara. Karena semakin besarnya tahanan kaki menara maka akan

Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Elektro

mengakibatkan tegangan lebih yang semakin besar pula.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik tahanan kaki menara terhadap tegangan lebih yang dihasilkan, setelah melihat hasil nilai tahanan kaki menara mulai dari harga rata-rata $3,79 \Omega$ sampai dengan harga tertinggi yaitu $10,6 \Omega$ menghasilkan tegangan lebih pada trafo sebesar $170,95 \text{ kV}$. Dari hasil simulasi tegangan lebih pada kawat tanah mulai dari tegangan yang terendah sebesar $140,8 \text{ kV}$ sampai dengan tegangan lebih tertinggi sebesar $170,95 \text{ kV}$. Dilihat dari tegangan lebih gelombang transien maksimum pada hasil simulasi bahwa pada trafo terdapat tegangan maksimum $170,95 \text{ kV}$, namun dengan tegangan sebesar $170,95 \text{ kV}$ ini masih dalam level yang aman, karena berdasarkan data yang didapatkan bahwa nilai tahanan pentanahan $3,79 \Omega$ sampai 10Ω pada saluran transmisi 150 kV Killiranjao-Muaro Bungo. Dengan membandingkan harga tegangan hasil simulasi dan harga data maka tegangan lebih yang terjadi pada saluran 150 kV Killiranjao-Muaro Bungo masih dalam jangkauan yang aman.

Berdasarkan standar PLN tahun 1978 bahwa tegangan maksimum untuk peralatan di GI adalah 170 kV . Maka untuk nilai tahanan kaki menara maksimal $10,6 \Omega$ semua peralatan yang ada pada GI Muaro Bungo-killiranjao berada dalam keadaan aman.

KESIMPULAN

- Besarnya tahanan kaki menara mempunyai pengaruh yang cukup berarti terhadap besarnya tegangan lebih yang terjadi di saluran transmisi 150 kV Killiranjao-Muaro Bungo, seperti pada saat $R = 3,79 \text{ ohm}$, tegangan lebih $140,80 \text{ kV}$, $R = 10,6 \text{ ohm}$, tegangan lebih $170,95 \text{ kV}$.
- Tegangan maksimum pada transformator adalah $170,95 \text{ kV}$, namun tegangan lebih yang terjadi sudah melebihi batas tegangan maksimum peralatan sebesar 170 kV sesuai SPLN_71978.
- Nilai tahanan kaki menara maksimum untuk SUTT Killiranjao – Muaro Bungo adalah 10 ohm , karena tegangan lebih yang timbul masih berada pada batas aman sebesar $168,13 \text{ kV}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar. A , “ Teknik Tenaga Listrik Jilid II ”, Jakarta, 1979.
- [2] Hutauruk, T.S, M.Sc. Ir, “ Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja ”, Erlangga, 1991.
- [3] Hutauruk, T.S, M.Sc. Ir, “ Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan ”, Erlangga, 1991.
- [4] Hutauruk, T.S, M.Sc. Ir, “ Transmisi Daya Listrik ”, Erlangga, 1993.

- [5] Standar Perusahaan Listrik Negara, Jakarta, 14 September 1978.
- [6] Stevenson Jr, D, William, Prof, “Analisa Sistem Tenaga”, Erlangga, 1993.
- [7] Warmi, Yusreni, MT, “ Transmisi Daya Arus Bolak-Balik”, ITP, 2005.
- [8] Zoro, Reynaldo, DR. Ir. Dipl-Ing, “ Sistem Proteksi ”, Diktat Kuliah, ITB, 1997.