

Profil Tegangan Surja Petir pada Generator Impuls RLC Sebagai Simulasi Tegangan Lebih

Kumala Mahda Habsari^{*1)}, Hanifiyah Darna Fidya Amaral²⁾, Hafizh Farhan³⁾

(Artikel diterima: Januari 2022, direvisi: Februari 2022)

Abstrak: Gangguan tegangan lebih pada jaringan listrik umumnya disebabkan oleh dua macam tegangan transient yang berasal dari luar atau dari dalam sistem itu sendiri. Jenis gangguan dari luar ini biasanya disebabkan oleh sambaran petir. Gangguan tegangan lebih yang berasal dari petir dapat menjadi ancaman berbahaya bagi jaringan listrik, instalasi listrik dan peralatan listrik. Tegangan impuls yang dibawa oleh petir memiliki amplitudo sangat besar. Pada skala laboratorium, tegangan impuls dapat dibangkitkan hingga 1000 kV. Gelombang tegangan tinggi impuls yang dihasilkan oleh generator impuls memiliki karakteristik durasi yang pendek antara mikro detik hingga beberapa puluh mikro detik. Perancangan simulasi pembangkitan tegangan tinggi impuls dengan rangkaian generator impuls RLC dilakukan dengan tujuan untuk menyimulasikan tegangan lebih yang berasal dari surja petir. Profil tegangan yang dihasilkan diamati dan dianalisa. Rangkaian generator impuls RLC disimulasikan dengan dua variasi tegangan keluaran yang berbeda, yaitu 1 kV dan 10 kV. Profil tegangan yang dihasilkan oleh generator impuls RLC dengan tegangan keluaran 1kV dan 10 kV memiliki bentuk yang mirip dengan profil tegangan generator impuls RLC yang ada pada standar IEC 61000-4-5. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian generator impuls RLC yang disimulasikan berhasil dijalankan sesuai standar.

Kata-kata kunci : Generator Impuls RLC, Surja Petir, Tegangan Lebih, Profil Tegangan, Tegangan Tinggi

1. Pendahuluan

Tegangan lebih pada sistem tenaga listrik dapat diartikan sebagai kenaikan tegangan pada waktu yang sangat singkat. Fenomena ini juga diketahui sebagai fenomena lonjakan tegangan atau transien tegangan. [1]. Lonjakan tegangan yang menimbulkan tegangan lebih dapat muncul karena sambaran petir. Petir merupakan fenomena alam berenergi sangat tinggi sehingga dapat menjadi sumber berbahaya. [2], [3]. Sebuah sambaran petir tunggal dapat membawa tegangan hingga 300 kV yang dapat menyebabkan kerusakan pada perangkat maupun isolasinya. [4].

Gangguan tegangan lebih pada jaringan listrik umumnya disebabkan oleh dua macam tegangan transient yang berasal dari luar atau dari dalam sistem itu sendiri. Jenis gangguan dari luar ini biasanya disebabkan oleh sambaran petir. Setiap sambaran petir selalu diikuti dengan merambatnya gelombang tegangan yang berjalan dimana amplitudonya dibatasi oleh ketahanan isolasi dari sistem transmisi itu sendiri.

Tegangan impuls yang dibawa oleh petir memiliki amplitudo sangat besar. Pada skala laboratorium, tegangan impuls dapat dibangkitkan hingga 1000 kV. Gelombang tegangan tinggi impuls yang dihasilkan oleh generator impuls memiliki karakteristik durasi yang pendek antara mikro detik hingga beberapa puluh mikro detik. [5]. Durasi pendek pada fenomena tegangan impuls tersebut yang menyebabkan fenomena tegangan tinggi muncul. Menurut standar IEC, nilai puncak waktu tegangan gelombang petir adalah 1,2/50 μ s dan nilai puncak waktu arus sebesar 8/20 μ s. Nilai puncak waktu tersebut kemudian akan turun secara perlahan sekitar 50 mikro detik hingga setengah dari nilai puncaknya. [6].

Pada skala eksperimental, surja petir dapat disimulasikan dengan pembangkitan tegangan tinggi impuls. Tegangan tinggi impuls dibangkitkan menggunakan generator impuls RC, generator impuls RLC dan generator marx. Generator impuls RLC menghasilkan gelombang eksponensial ganda yang berbentuk

menyerupai tegangan tinggi impuls. *Natural behaviour* dari komponen R, L dan C yang menyusun rangkaian generator impuls dan nilai dari komponen menentukan bentuk gelombang keluaran yang dihasilkan. [5].

Pada penelitian ini dirancang simulasi pembangkitan tegangan tinggi impuls dengan rangkaian generator impuls RLC. Pembangkitan tegangan tinggi yang dibangkitkan digunakan sebagai simulasi tegangan lebih yang berasal dari surja petir. Rangkaian generator RLC dirangkai dan disimulasikan untuk dapat menghasilkan tegangan impuls petir sesuai dengan standar IEC 61000-4-5. Selanjutnya profil tegangan keluaran akan diamati dan dianalisa dengan parameter pembandingan bentuk standar gelombang surja petir standar IEC.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Petir

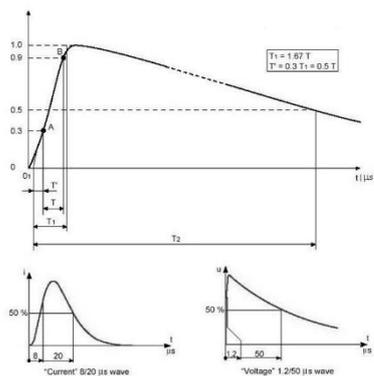
Petir adalah pelepasan muatan listrik di udara antara awan, dalam awan, atau antara awan dengan tanah. Di dalam awan terdapat muatan negatif dan muatan positif, dimana jika muatan ini bertemu akan terjadi tarik menarik yang dapat menimbulkan kilat. Begitu juga dengan muatan negatif yang berdekatan dengan muatan negatif akan terjadi tolak menolak yang dapat menimbulkan kilat/ledakan. Bumi merupakan tempat dari muatan positif dan negatif. Jika terjadi pelepasan muatan dari petir dan dekat dengan bumi, akan terjadi sambaran petir ke bumi. Apabila petir mengenai penghantar listrik, maka kemungkinan besar penghantar tersebut akan putus karena gelombang petir menimbulkan tegangan impuls dari penghantar. Terpa petir adalah bentuk gelombang petir berdasarkan fungsi waktu. Petir mencapai amplitudo yang sangat tinggi (orde kilo) dalam waktu yang singkat (orde mikro). Menurut standar IEC 60-2/73, nilai tegangan gelombang petir adalah 1,2/50 μ s dan arus sebesar 8/20 μ s. Gambar 1 menunjukkan karakteristik standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) dari gelombang surja petir.

* Korespondensi: kumalamahda@pnm.ac.id

1) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik, PNM, Indonesia

2) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Polinema, Indonesia

3) Prodi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, UM (mahasiswa), Indonesia



Gambar 1. Bentuk Standar Gelombang Surja Petir

2.1.1 Parameter Petir

Petir memiliki beberapa parameter yang memiliki pengaruh pada objek yang disambarnya. Berikut adalah beberapa parameter yang dimiliki oleh petir.

- a. Arus puncak (i)

Merupakan arus puncak petir maksimum yang berbentuk impuls. Arus puncak ini menyebabkan drop tegangan pada tahanan tanah.
- b. Muatan arus impuls (Q)

Parameter ini merupakan jumlah dari kapasitas energi pada titik sambar dimana arus petir akan terlihat seperti loncatan api.
- c. Impuls force (E)

Parameter ini merupakan kekuatan dari impuls yang menyebabkan pemanasan pada konduktor atau struktur dimana arus petir mengalir dan menyebabkan panas impuls listrik pada resistor.
- d. Kecuraman gelombang arus

Parameter ini merupakan kecuraman arus petir maksimum yang menyebabkan tegangan induktif pada konduktor

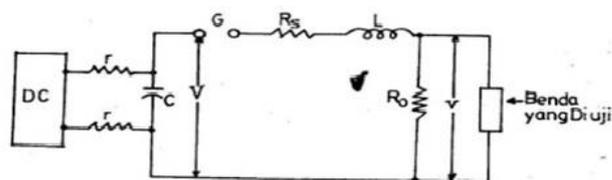
2.2 Generator Impuls

Generator impuls merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan suatu gelombang impuls yang dapat digunakan untuk simulasi ketahanan isolasi material terhadap tegangan tinggi. (Sentra, 2016). Isolator harus diuji ketahanannya terlebih dahulu agar dapat diketahui ketahanannya untuk menanggung terpaan gangguan seperti petir. Dan alat pengujian tersebut adalah generator impuls. Generator impuls memiliki spesifikasi keluaran gelombang dengan standar nilai yang sudah ditetapkan oleh *International Electrotechnical Commission* (IEC). Nilai tegangan yang dihasilkan dari generator impuls tergantung dari kebutuhan.

2.3 Generator Impuls RLC

Generator impuls RLC merupakan generator tegangan tinggi DC yang menghasilkan gelombang impuls. Rangkaian generator impuls RLC ditunjukkan pada gambar 2. Sumber DC akan mengisi kapasitor C hingga mencapai nilai tegangan tertentu. Ketika nilai tertentu pada tegangan V telah dicapai, terjadi percikan api (sparkover) disela api G. Kapasitor mengalami pelepasan muatan (discharge) dan akan melewati R_s , L, dan R_o dan terjadilah tegangan impuls. Resistor R_s berfungsi sebagai resistor peredam

(damping resistor) untuk menghindari osilasi frekuensi tinggi. Sedangkan R_o merupakan discharge resistor (tahanan pelepas muatan) yang berfungsi sebagai pengatur bentuk ekor gelombang dan L bersama R_o digunakan sebagai pengatur muka gelombang sehingga generator impuls RLC dapat mensimulasikan bentuk gelombang tegangan dan arus surja sesuai dengan standar IEC. Sebelum merancang rangkaian generator impuls RLC, harus menentukan nilai dari komponen R, L, C terlebih dahulu.

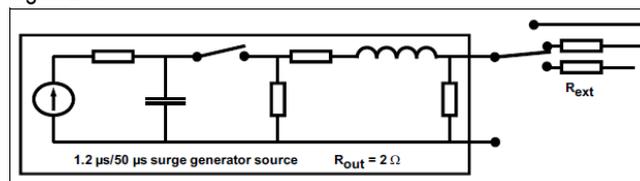


Gambar 2. Generator Impuls RLC [7]

3. Metode Penelitian

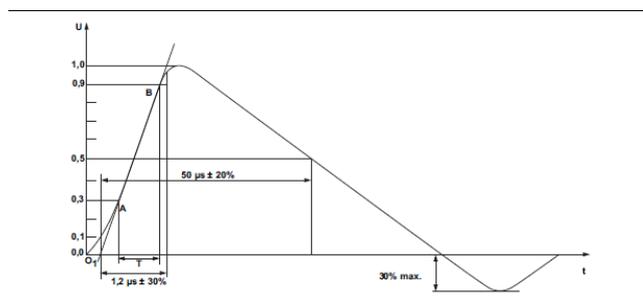
3.1 Perancangan Simulasi

Rangkaian simulasi dirancang sesuai dengan standar IEC 61000-4-5. Perancangan simulasi terangkai dengan sumber tegangan DC.

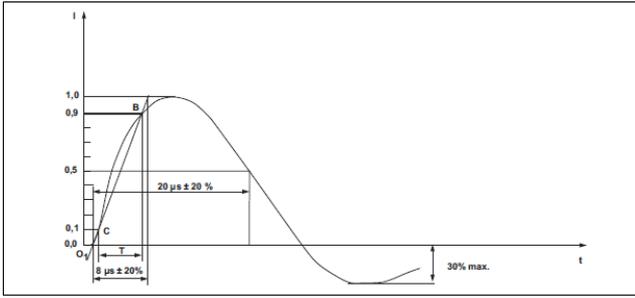


Gambar 3. Rangkaian Generator Impuls

Gambar 3 merupakan standar yang ditetapkan oleh IEC (*International Electrotechnical Commission*) dengan bentuk gelombang tegangan impuls 1.2/50 μs pada saat *open circuit* dan bentuk gelombang arus impuls 8/20 μs pada saat *short circuit*. Gambar 4 merupakan bentuk gelombang tegangan impuls 1.2/50 μs dan pada gambar 5 adalah bentuk gelombang arus impuls 8/20 μs.



Gambar 4. Bentuk Gelombang Tegangan Impuls 1.2/50us



Gambar 5. Bentuk Gelombang Arus Impuls 8/20 us

Gambar 4 menunjukkan gelombang tegangan impuls memiliki *rise time* (T1) 1.2 μ s dan *tail time* (T2) 50 μ s. Pada gambar 3.4 yaitu gelombang arus impuls memiliki *rise time* (T1) 8 μ s dan *tail time* (T2) 20 μ s.

3.2 Menentukan nilai komponen rangkaian generator impuls RLC

Merancang rangkaian generator impuls RLC, terlebih dahulu menentukan nilai komponen R, L, dan C. Nilai kapasitansi kapasitor C dicari dengan menggunakan persamaan :

$$C = 2W \left(\frac{\eta}{V_{maks}} \right)^2 \quad (1)$$

Keterangan :

W = energi yang tersimpan pada kapasitor pemuat

η = efisiensi tegangan generator

V_{maks} = tegangan puncak

Nilai L dicari dengan persamaan :

$$L = \frac{1}{C(\gamma^2 - \delta^2)} \quad (2)$$

Nilai R dicari dengan persamaan :

$$R = \frac{2\gamma}{C(\gamma^2 - \delta^2)} \quad (3)$$

Nilai R_0 dicari dengan persamaan :

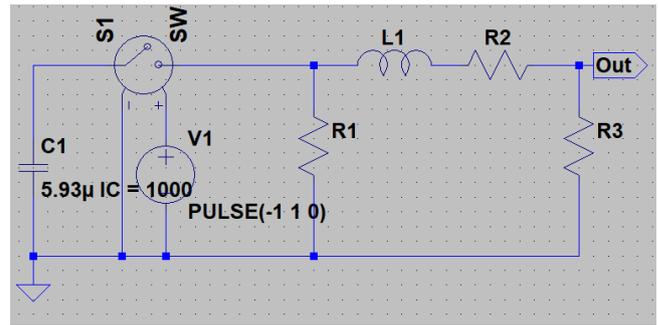
$$R_0 = \frac{\eta R \delta}{\gamma(e^{\frac{1}{1-b}} \ln b - e^{\frac{1}{1-b}} \ln b)} \quad (4)$$

Nilai R_s dicari dengan persamaan :

$$R_s = R - R_0 \quad (5)$$

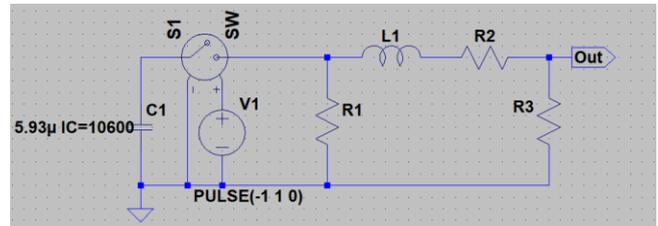
3.3 Simulasi Rangkaian

Rangkaian generator impuls RLC disimulasikan pada software LTSpice VXII. Generator impuls RLC yang disimulasikan, dirangkai dengan variasi tegangan keluaran yang berbeda, yaitu 1 kV dan 10 kV. Gambar 6 merupakan rangkaian generator impuls dengan tegangan keluaran 1 kV. Pada rangkaian gambar 5, kapasitor C1 telah terisi penguatan tegangan IC (initial condition) 1000 V.



Gambar 6. Rangkaian Generator Impuls 1 kV

Rangkaian generator impuls 10 kV pada simulasi LTSpice XVII memiliki nilai dari masing – masing komponen sesuai dengan standar IEC. Ketika tegangan V mencapai nilai tertentu, terjadi percikan api pada *switch* SW. Muatan pada kapasitor C dilepaskan melewati resistor dan induktor sehingga terjadi tegangan impuls. Rangkaian generator impuls 10 kV ditunjukkan pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Rangkaian Generator Impuls 10 kV

4. Hasil dan Pembahasan

Profil tegangan keluaran dari simulasi diamati dan diukur. Simulasi generator impuls RLC bertujuan untuk menyimulasikan tegangan impuls yang dihasilkan oleh surja petir. Rangkaian generator impuls RLC dapat digunakan sebagai rangkaian pengujian komponen pengaman sebelum diaplikasikan pada jaringan atau instalasi listrik.

4.1 Simulasi Generator Impuls RLC 1 kV

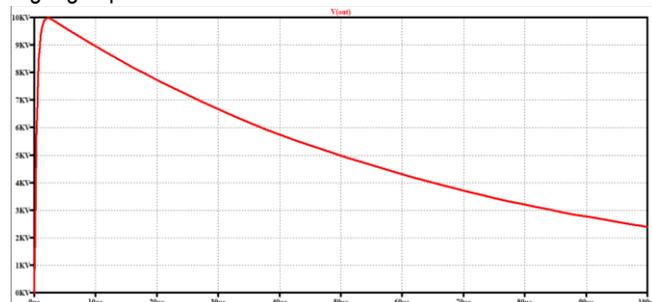
Profil tegangan keluaran yang dihasilkan pada simulasi ini ditunjukkan pada gambar 8. Profil tegangan diatas didiskritkan setiap 1 μ s mulai dari 0 μ s sampai 100 μ s, sehingga akan diperoleh sebanyak 101 data diskrit tegangan. Dampak dari pemberian tegangan impuls sebesar 1 kV yaitu memberikan nilai puncak V_{out} kurang lebih sebesar 950 V. Profil tegangan surja yang dihasilkan oleh generator impuls telah menyerupai profil tegangan surja yang ada pada standar IEC.



Gambar 8. Profil Tegangan Impuls 1 kV

4.2 Simulasi Generator Impuls RLC 10 kV

Gambar 4.6 adalah profil tegangan dari rangkaian generator impuls 10 kV. Bentuk profil tegangan yang dihasilkan oleh generator impuls telah menyerupai bentuk profil tegangan surja yang ada pada standar IEC. Pada gambar 9 terlihat menghasilkan tegangan puncak V_{out} sebesar 10 kV.



Gambar 9. Profil Tegangan Impuls 10 kV

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Simulasi generator impuls RLC disimulasikan sebagai simulasi tegangan lebih yang dibawa oleh surja petir. Pembangkitan tegangan tinggi yang dibuat mampu menghasilkan tegangan tinggi impuls. Gelombang keluaran pada simulasi, dihasilkan oleh rangkaian yang melalui proses perhitungan komponen RLC. Rangkaian generator impuls RLC yang dirangkai telah sesuai dengan standar IEC 61000-4-5. Nilai resistansi yang ada pada rangkaian generator impuls RLC mempengaruhi lama waktu gelombang keluaran mencapai puncak gelombang dan juga mempengaruhi nilai tegangan puncaknya. Nilai induktor yang digunakan pada rangkaian mempengaruhi bentuk profil tegangan yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai induktansi yang diberikan pada induktor, profil tegangan keluaran yang dihasilkan akan terbentuk semakin landau. Profil tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian generator impuls juga dipengaruhi oleh nilai *initial condition* pada kapasitor. Semakin besar nilai *initial condition* yang diatur, tegangan keluaran yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Selain itu, nilai kapasitansi juga mempengaruhi bentuk profil tegangan pada ekor gelombang. Profil tegangan yang dihasilkan oleh generator impuls RLC dengan tegangan keluaran 1 kV dan 10 kV memiliki bentuk yang mirip dengan profil tegangan generator impuls RLC yang ada pada standar IEC 61000-4-5. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian generator impuls RLC yang disimulasikan berhasil dijalankan sesuai standar.

5.2 Saran

Rangkaian yang telah disimulasikan dapat dibuat prototype atau rancang bangunnya agar dapat diujikan secara nyata di laboratorium tegangan tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] N. S. Othman *et al.*, "An Overview on Overvoltage Phenomena in Power Systems," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 557, no. 1, pp. 0–5, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/557/1/012013.
- [2] B. J. Jun and G. Z. Hua, "Energy coordination to the terminal device with built-in varistor," *2011 7th Asia-Pacific Int. Conf. Light. APL2011*, pp. 125–130, 2011, doi: 10.1109/APL.2011.6111087.
- [3] R. Zoro, "Induksi Dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik Akibat Sambaran Petir Pada Jaringan Tegangan Rendah," *MAKARA Technol. Ser.*, vol. 13, no. 1, pp. 25–32, 2010, doi: 10.7454/mst.v13i1.492.
- [4] B. Franc, B. Filipović-Grčić, and V. Milardić, "Lightning overvoltage performance of 110 kV air-insulated substation," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 138, no. May 2019, pp. 78–84, 2016, doi: 10.1016/j.epsr.2015.12.002.
- [5] A. Manik, S. Utami, B. S. Wibowo, and A. Syakur, "Simulasi Bentuk Muka Gelombang Impulse Petir pada Generator Impuls RLC dan RC Menggunakan PSim," *JTET (Jurnal Tek. Elektro Ter.)*, vol. 9, no. 1, ISSN:2503-2941, pp. 18–24, 2020.
- [6] D. Kind, *An Introduction to High-Voltage Experimental Technique*. 1978.
- [7] P. D. A. Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*, Cetakan Ke. Jakarta: PT. Pertja, 2001.