

Pengaruh SVL Pada *Metallic Sheat Underground Cable* 150 kV Terhadap *Transient Switching Capacitor Bank* PLTU FTP 2 Lombok 2x50 MW

Ersalia Dewi Nursita^{1*)}; Tony Koerniawan¹; Irfan Maulana Ibrahim¹

1. Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, DKI Jakarta, DKI Jakarta, 11750, Indonesia

^{*)}Email: ersalia@itpln.ac.id

Received: 28 Maret 2023 | Accepted: 26 Mei 2023 | Published: 8 Juli 2023

Abstract

Sheath Voltage Limiter is a surge protection device that is connected between the metallic sheath and the ground on the cable to limit the excess voltage on the metallic sheath during steady state and transient conditions, the effect of installing SVL (Sheath Voltage Limiter) on the induced voltage experienced by the sheath of the cable is carried out in two conditions as a comparison, namely in normal conditions / before experiencing a transient event and during a transient condition. In conditions before experiencing a transient event, the sheath voltage limiter installed on the generator side with the installation of a sheath bonding cable can reduce the induced voltage from 50 kV to 6.04 kV where the induced voltage reduction on the cable sheath is 87.2% on the generator side and on the substation side the mains experience attenuation of the induced voltage, from 50 kV to 41.7 kV attenuation of the induced voltage at the cable sheath is 16.6%. During transients, 200 – 400 kVar is injected with 50 kVar intervals. SVL installation on the generator side with the installation of a sheath bonding cable can reduce the sheath voltage on the generator side by up to 89.58% - 94.53% and can reduce the sheath voltage on the substation side by up to 19.51% at each increase in the capacity of a given bank capacitor.

Keywords: ATP-EMTP, sheath bonding cable, sheat voltage limiter, induced voltage

Abstrak

Sheath Voltage Limiter merupakan perangkat pelindung lonjakan arus yang terhubung antara metallic sheath dan ground pada kabel untuk membatasi tegangan lebih pada metallic sheath selama kondisi steady state maupun transien, pengaruh pemasangan SVL (Sheath Voltage Limiter) terhadap tegangan induksi yang dialami sheath kabel dilakukan dengan dua kondisi sebagai perbandingan yaitu pada kondisi normal/sebelum mengalami peristiwa transient dan selama kondisi mengalami transient. Pada kondisi sebelum mengalami peristiwa transient pemasangan sheath voltage limiter terpasang di sisi pembangkit dengan instalasi sheath bonding cable dapat meredam tegangan induksi dari 50 kV hingga ke 6,04 kV dimana peredaman tegangan induksi pada sheath kabel adalah sebesar 87.2% di sisi pembangkit dan pada sisi gardu induk mengalami peredaman tegangan induksi yaitu dari 50 kV hingga ke 41,7 kV peredaman tegangan induksi pada sheath kabel adalah sebesar 16.6%. Pada saat mengalami transient diinjeksikan 200 – 400 kVar dengan interval 50 kVar peredaman pemasangan SVL pada sisi pembangkit dengan instalasi sheath bonding cable itu dapat meredam tegangan sheath di sisi pembangkit hingga 89.58% - 94.53% dan dapat meredam tegangan sheath di sisi gardu induk hingga 19.51% pada tiap tiap kenaikan kapasitas kapasitor bank yang diberikan.

Kata kunci: ATP-EMTP, sheath bonding cable, sheat voltage limiter, tegangan induksi

1. PENDAHULUAN

Gangguan *transient* merupakan perubahan nilai tegangan atau arus maupun keduanya dalam jangka waktu tertentu dari kondisi tunak (*steady state*). Penyebabnya adalah dari faktor eksternal atau lingkungan misalnya petir dan dapat juga akibat perlakuan dari sistem itu sendiri atau faktor internal seperti proses *switching*. Pada pembahasan disini difokuskan lebih karena adanya proses *switching* pada kapasitor.

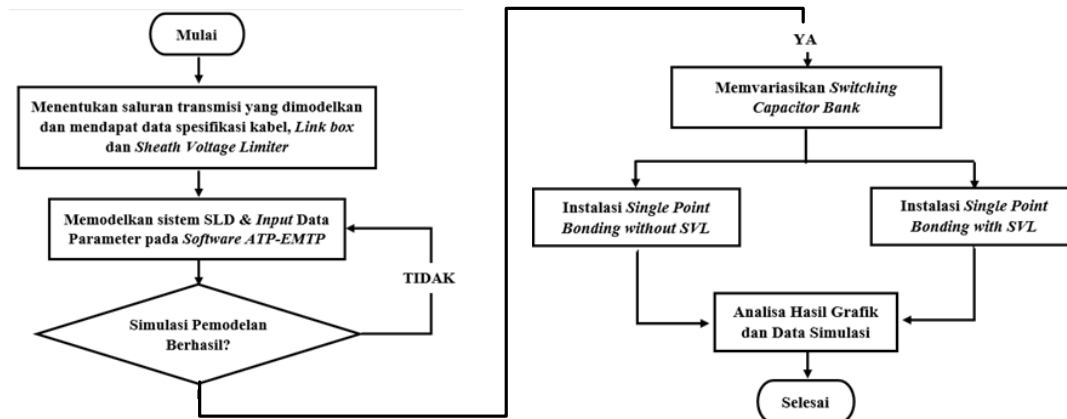
Adanya pensaklaran, interupsi, rangkaian hubung singkat, atau apapun perubahan yang sangat cepat yang terjadi dalam rangkaian listrik fenomena transien akan muncul. Dalam jaringan sistem daya fenomena *transient* tidak diinginkan karena saat *transient* meningkatkan nilai dari arus, tegangan dan kerapatan energi pada sebagian atau semua sistem daya. Semua itu dapat menghasilkan distorsi peralatan, kenaikan suhu dan kerusakan elektrodinamik, interferensi stabilitas sistem dan pada kasus ekstrim dapat menyebabkan kerusakan keseluruhan sistem [1].

PLTU FTP 2 Lombok dengan kapasitas 2x50 MW masih dalam tahap konstruksi pada tahun 2022, dimana dalam pembangunannya menggunakan kabel bawah tanah dengan jarak 500 m ke gardu induk. Efek negatif perlu mendapat perhatian khusus saat memasang sistem kabel bawah tanah, yaitu rugi-rugi dari induksi tegangan pada kabel. Karena kabel selalu diproduksi dengan *metallic sheath* yang bergungsi untuk ketahanan terhadap benturan sehingga terhindar dari kerusakan mekanis. Pada saat kondisi normal atau pada saat *switching capacitor bank* berproses maka terjadi *transient* tegangan induksi terjadi dari konduktor inti ke *metallic sheath*. Jika tegangan induksi yang terjadi pada *metallic sheath* tidak dibatasi perbedaan tegangan antara *metallic sheath* dan tanah dapat melebihi tegangan tahan jaket kabel, hal itu dapat menyebabkan masalah dielektrik dan kegagalan jangka panjang. Sehingga keandalan perlindungan jalur kabel tegangan tinggi untuk transmisi bawah tanah menjadi semakin penting karena konsumen menjadi lebih tidak toleran terhadap pemadaman akibat gangguan, semua faktor ini menyebabkan meningkatnya penggunaan SVL (*Sheath Voltage Limiter*) untuk melindungi *metallic sheath* dari tegangan listrik yang disebabkan selama kondisi *steady state* dan *transient* pada sistem kabel [4].

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati bagaimana pengaruh pemasangan SVL (*Sheath Voltage Limiter*) terhadap tegangan induksi yang dialami *sheath* kabel pada kondisi normal/sebelum mengalami peristiwa *transient* dan selama kondisi mengalami *transient* dengan menginjeksikan *switching capacitor bank* dari 200 kVar – 400 kVar pada masing – masing fasa dengan interval 50 kVar dimana *switching capacitor bank* diinjeksikan pada waktu 0.015 s pada simulasi dan simulasi ini dilakukan dengan dua kondisi sebagai perbandingan yaitu tanpa pemasangan *sheath voltage limiter* dengan pemasangan *sheath voltage limiter*.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

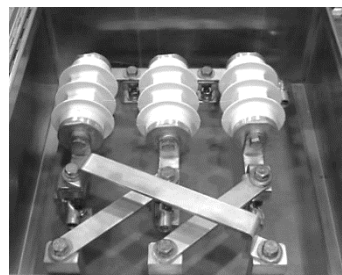
Desain dan tahapan penelitian terdapat beberapa langkah yang berbentuk diagram alir di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. The Sheath Voltage Limiter

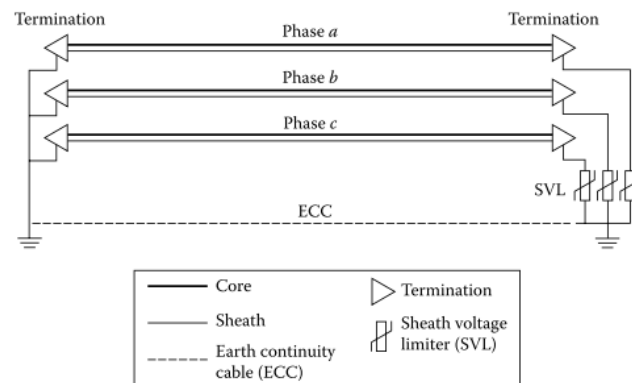
Sheath Voltage Limiter merupakan perangkat pelindung lonjakan arus yang terhubung antara *metallic sheath* dan *ground* pada kabel terikat khusus untuk membatasi tegangan lebih pada *metallic sheath* selama kondisi *steady state* maupun transien. *Sheath Voltage Limiter* (SVL) merupakan *arrester* dengan nama yang berbeda yang memiliki fungsi untuk membatasi tegangan induksi yang terjadi pada *sheath metallic cable* dimana pada pemasangannya dihubungkan ke *metallic sheath cable* dan *grounding*. Dalam pemasangannya ukuran atau rating yang tepat menjadi semakin penting karena jaringan transmisi *underground cable* menjadi lebih kompleks dari parameter jenis kabel, panjang saluran kabel, kapasitas penyaluran, mode pemasangan kabel dan lainnya. Ketika rating SVL di bawah gangguan kondisi *steady state*, hasilnya bisa berpotensi membahayakan publik [7].



Gambar 2. Sheath Voltage Limiter with Link Box

2.2. Sheath Bonding Cable

Untuk instalasi kabel sepanjang kurang dari 2 km menggunakan teknik *single point bonding* memiliki keuntungan dalam mengurangi tegangan induksi pada selubung kabel. Kerugian tegangan induksi selubung dapat dikurangi sampai nol dengan menerapkan *single-point bonding*, seperti pada gambar 3. Teknik ini dapat diterapkan pada panjang kabel yang pendek dikarenakan terbatasnya tegangan selubung. Untuk mencegah tegangan pada selubung kabel meningkat, *sheath voltage limiter* perlu ditambahkan pada salah satu ujung instalasi kabel. Tambahan instalasi kabel *earthing* antar terminasi/*earth continuity cable* (ECC) untuk menekan tegangan lebih pada selubung [2].



Gambar 3. Connection Diagram Single-Point

Inti konduktor di dalam kabel dikelilingi bahan dielektrik, yang memiliki suatu kekuatan dielektrik tertentu. Bila mana kekuatan dielektrik itu dilampaui, bahan dielektrik akan menjadi rusak, bahkan dapat meleleh. Kabel perlu memiliki desain sedemikian rupa hingga tegangan elektrostatis yang terbesar yang terjadi tidak melampaui kekuatan bahan dielektrik yang dipakai [6].

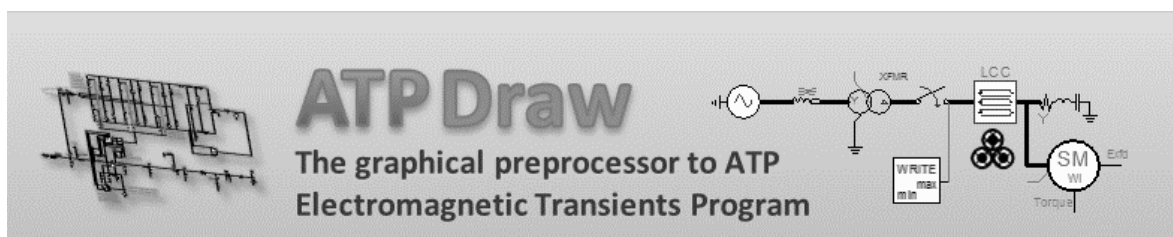
Lapisan luar kabel biasanya terbuat dari PE atau PVC. PVC memiliki kemampuan yang baik dari PE dari segi ketahanan terhadap suhu dan pengaruh-pengaruh luar. Dimana PVC merupakan bahan tidak mudah terbakar sedangkan PE merupakan bahan yang mudah terbakar. Namun karena PVC melepaskan gas beracun *hydrogen* klorida pada saat terbakar, PE menjadi pilihan yang paling sering digunakan di berbagai utilitas [3].

High density polyethylene (HDPE) and *medium density polyethylene* (MDPE) merupakan material yang sering digunakan sebagai lapisan luar pada kabel tanah. Kedua jenis material ini sangat keras dan tidak mudah rusak meskipun terkena benda tajam. Memiliki keunggulan terhadap kondisi lingkungan yang mempunyai suhu sekitar yang tinggi, sehingga cocok untuk kebutuhan pada negara tropis [5].

2.3. Software Alternative Transients Program (ATP)

ATP (*Alternative Transient Program*) merupakan pengembangan dari program EMTP (*Electromagnetic Transient Program*) yang dikembangkan pada tahun 2012 oleh Dr. Hans Kr. Hoidalen di SINTEF Energy Research/Norwegian University of Science and Technology in Norway, serta didukung oleh Bonneville Power Administration, Portland Oregon-USA.

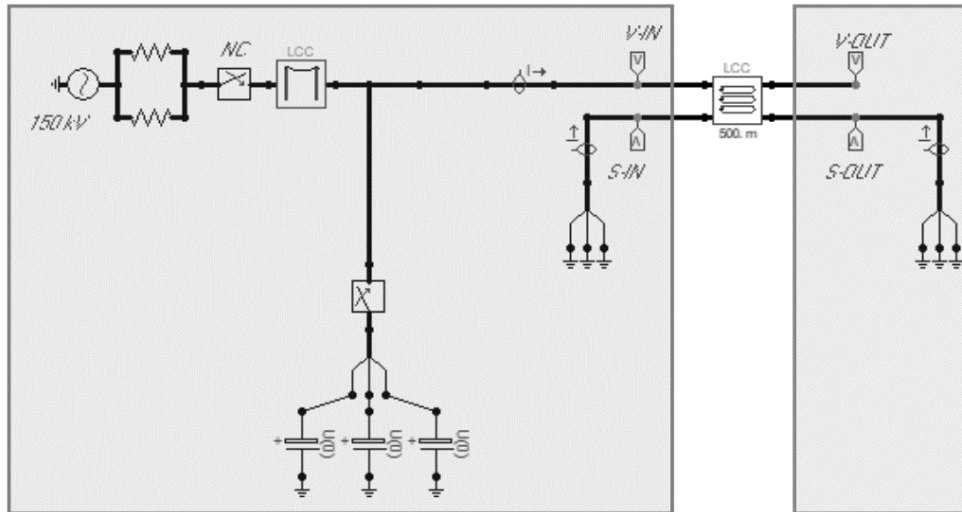
Dengan menggunakan software ATP-EMTP besar nilai tegangan induksi yang terjadi pada *metallic sheath* dapat ditampilkan, hasil dari grafik dan nilai yang diperoleh dapat penulis analisa mengenai pengaruh penggunaan SVL terhadap *sheath* kabel pada saluran kabel bawah tanah. ATP termasuk salah satu program yang digunakan secara luas untuk simulasi *digital* dari fenomena *transient* elektromagnetik, sebagaimana kejadian elektromagnetik sesungguhnya pada sistem tenaga.



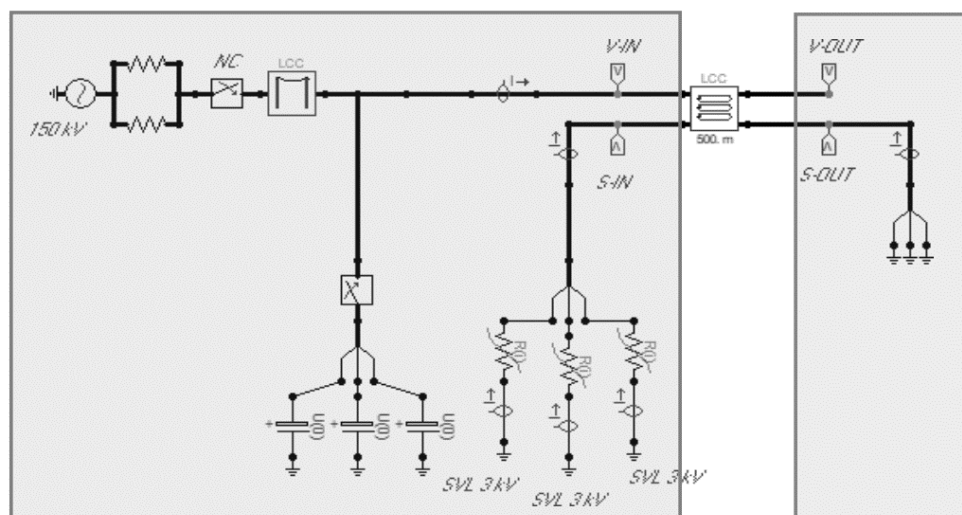
Gambar 4. Icon ATP-Draw

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati bagaimana pengaruh pemasangan SVL (*Sheath Voltage Limiter*) terhadap tegangan induksi yang dialami *sheath* kabel pada kondisi normal/sebelum mengalami peristiwa *transient* dan selama kondisi mengalami *transient* dengan menginjeksikan *switching capacitor bank* dari 200 kVar – 400 kVar pada masing – masing fasa dengan interval 50 kVar dimana *switching capacitor bank* diinjeksikan pada waktu 0.015 s pada simulasi dan simulasi ini dilakukan dengan dua kondisi sebagai perbandingan yaitu tanpa pemasangan *sheath voltage limiter* dengan pemasangan *sheath voltage limiter*.



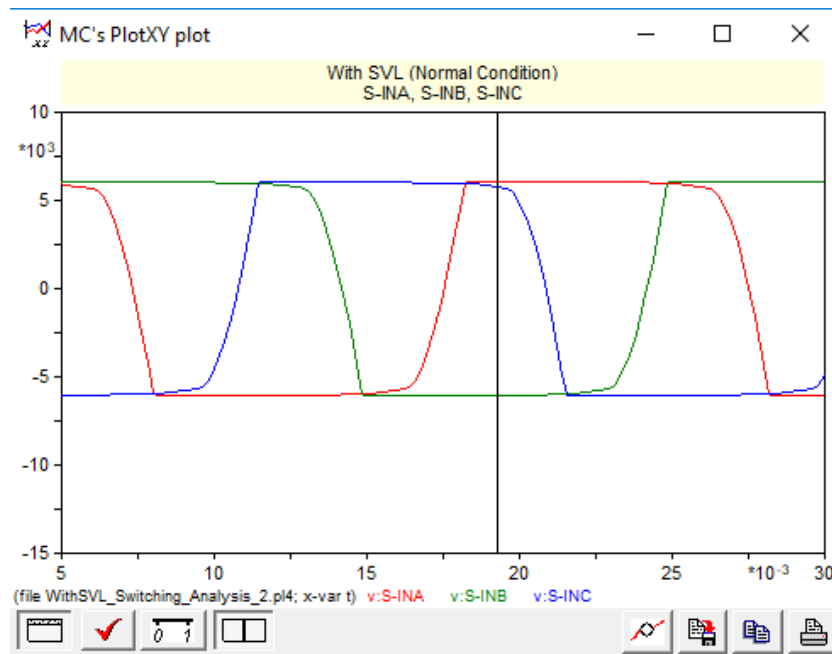
Gambar 5. Konfigurasi Simulasi Tanpa SVL (*Sheath Voltage Limiter*)



Gambar 6. Konfigurasi Simulasi Dengan SVL (*Sheath Voltage Limiter*)

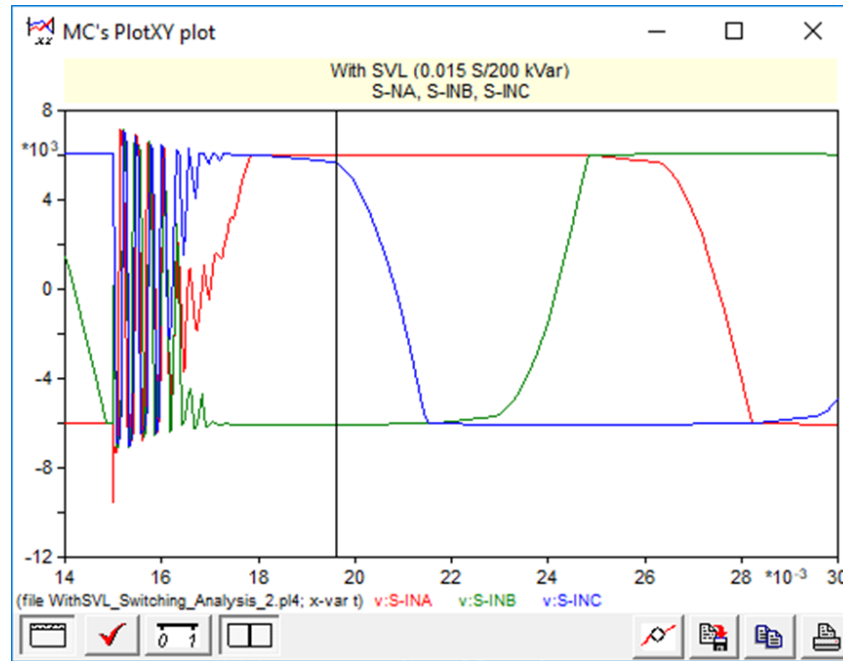
Pada gambar 5 merupakan konfigurasi simulasi dari kondisi aktual seperti di PLTU Lombok FTP 2 yang menggunakan kabel bawah tanah sepanjang 500 m, akan tetapi dalam konfigurasi ini tanpa pemasangan SVL (*Sheath Voltage Limiter*), segmentasi menggunakan metode *single point bonding* dimana *sheath* kabel di sisi pembangkit dan di sisi gardu induk langsung di *grounding* tanah. Pemodelan sumber tegangan AC dapat dilakukan dengan mengatur sumber tegangan sistem pada simulasi sebesar 150 kV dengan kabel sepanjang 500 m. Gambar 6 merupakan hasil simulasi dari

konfigurasi dengan segmentasi menggunakan metode *single point bonding* dimana *sheath* kabel di sisi pembangkit terdapat pemasangan SVL (*Sheath Voltage Limiter*) 3kV dan di sisi gardu induk langsung di *grounding* tanah. Pemasangan SVL (*Sheath Voltage Limiter*) di sisi pembangkit yang berfungsi sebagai mereduksi tegangan induksi yang terjadi pada *sheath* kabel untuk meminimalisasi kegagalan jangka panjang pada kabel yang digunakan.



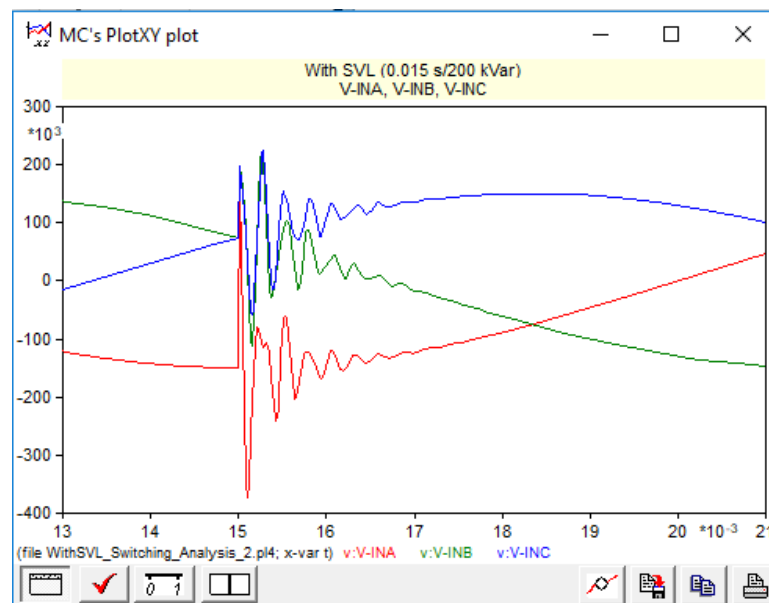
Gambar 7. Tampilan Gelombang Tegangan *Sheath* di Sisi Pembangkitan

Gambar 7 merupakan tegangan yang terjadi pada *sheath* yang berada di sisi pembangkit sebelum mengalami *transient switching* dari *capacitor bank*, untuk menunjukkan pengukuran dalam bentuk gelombang tegangan konduktor inti di sisi pembangkit yaitu dengan memilih S-INA, S-INB dan S-INC dimana hasil simulasi mengalami tegangan induksi sebesar 6,040 kV pada fasa R, 6,040 kV pada fasa s, 6,040 kV pada fasa T dimana hal ini dikarenakan tidak terjadinya gangguan *transient switching capacitor bank* dan dimana hal ini dikarenakan tidak terjadinya gangguan *transient switching capacitor bank* dan pada simulasi ini pemasangan SVL (*Sheath voltage limiter*) pada *sheath* di sisi pembangkit berbeda seperti yang dialami pada *sheath* di sisi pembangkit. Hal ini mengalami kesamaan tegangan induksi yang dihasilkan pada *sheath* kabel dikarenakan tidak terjadinya *transient* dikarenakan panjang kabel yang digunakan hanya sepanjang 500 m dan tanpa menggunakan SVL (*Sheath voltage limiter*).



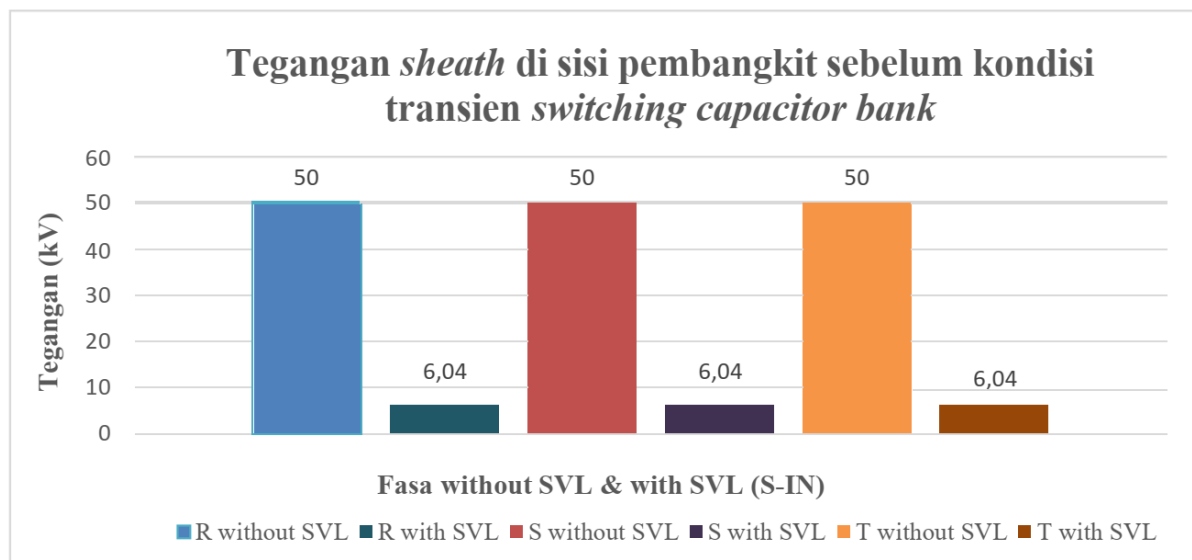
Gambar 8. Tampilan Gelombang *Sheath* di Sisi Pembangkit Saat Transient (200 kVar)

Tampilan gelombang tegangan yang terjadi pada *sheath* yang berada di sisi pembangkit saat mengalami *transient switching* dari *capacitor bank* dapat terlihat pada gambar 8, untuk menunjukkan pengukuran dalam bentuk gelombang tegangan konduktor inti di sisi pembangkit yaitu dengan memilih S-INA, S-INB dan S-INC dimana hasil simulasi mengalami tegangan induksi sebesar 6,831 kV pada fasa R, 7,088 kV pada fasa S dan 6,885 kV pada fasa T dan membutuhkan waktu yang dibutuhkan selama peristiwa *transient* terjadi hingga menunjukkan gelombang *steady state* adalah 2,51 ms.



Gambar 9. Tampilan Gelombang Transien Dengan SVL (200 kVar)

Gelombang tegangan keluaran masing-masing fasa pada saluran kabel bawah tanah dalam kondisi saat mengalami *transient switching* dari *capacitor bank* dengan menggunakan SVL (*Sheath Voltage Limiter*) dapat terlihat seperti pada gambar 9. Ketika *switch capacitor bank* diinjeksikan dalam simulasi sebesar 200 kVar pada tiap-tiap fasanya, maka terjadi *transient overvoltage* pada fasa tersebut, untuk menunjukkan pengukuran dalam bentuk gelombang tegangan konduktor inti yaitu dengan memilih V-INA, V-INB dan V-INC pada *plot command* dan dapat dilihat *transient* yang dialami pada fasa R = 190,360 kV, fasa S = 197,340 kV, fasa T = 197,970 kV dan *peak* amplitudo terjadi hingga -372,700 kV pada fasa R dan waktu yang dibutuhkan selama peristiwa *transient* yang terjadi pada *sheath* sisi pembangkit terjadi hingga menunjukkan gelombang *steady state* adalah 2,51 ms.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Antara Tanpa SVL dan Penggunaan SVL pada Tegangan *Sheath Cable* di Sisi Pembangkit Sebelum Kondisi *Transient Switching Capacitor Bank*

Perbandingan antara tanpa menggunakan SVL (*Sheath Voltage Limiter*) dan menggunakan SVL pada *sheath* di sisi pembangkit sebelum ditanahkan dapat terlihat seperti pada gambar 9 di atas. Grafik di atas berfokus pada S-IN (Tegangan *sheath* di sisi pembangkitan). Dimana pada simulasinya tanpa diberikan gangguan *switching capacitor bank* atau dalam kondisi normal selama simulasi berlangsung. Pada fasa R tanpa menggunakan SVL sebesar 50 kV dan fasa R dengan menggunakan SVL sebesar 6,04 kV, pada fasa S tanpa menggunakan SVL sebesar 50 kV dan fasa S dengan menggunakan SVL sebesar 6,04 kV, pada fasa T tanpa menggunakan SVL sebesar 50 kV dan fasa T dengan menggunakan SVL sebesar 6,04 kV. Dapat diamati bahwa *sheath* kabel yang mengalami tegangan induksi di sisi pembangkit mengalami penurunan tegangan induksi yang signifikan dari 50 kV ke 6,04 kV dimana peredaman tegangan induksi pada *sheath* kabel adalah sebesar 87.2% sehingga dapat dibuktikan bahwa SVL (*Sheath voltage limiter*) dapat meredam tegangan induksi yang terjadi pada *sheath* kabel, karena semakin kecil tegangan induksi yang dihasilkan maka semakin baik tegangan induksinya dikarenakan kenaikan tegangan juga berbanding lurus dengan kenaikan suhu, jika kenaikan tersebut tidak diproteksi maka akan mengakibatkan kegagalan jangka panjang pada kabel tersebut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada kondisi sebelum mengalami peristiwa *transient* pemasangan *sheath voltage limiter* terpasang di sisi pembangkit dengan instalasi *sheath bonding cable* dapat meredam tegangan induksi dari 50 kV hingga ke 6,04 kV dimana peredaman tegangan induksi pada *sheath* kabel adalah sebesar 87.2% di sisi pembangkit dan pada sisi gardu induk mengalami peredaman tegangan induksi yaitu dari 50 kV hingga ke 41,7 kV peredaman tegangan induksi pada *sheath* kabel adalah sebesar 16.6%. Pada saat mengalami *transient* diinjeksikan 200 – 400 kVar dengan interval 50 kVar peredaman pemasangan SVL pada sisi pembangkit dengan instalasi *sheath bonding cable* itu dapat meredam tegangan *sheath* di sisi pembangkit hingga 89.58% - 94.53% dan dapat meredam tegangan *sheath* di sisi gardu induk hingga 19.51% pada tiap tiap kenaikan kapasitas kapasitor *bank* yang diberikan.

Saran pada penelitian selanjutnya agar pemasangan *sheath voltage limiter* dapat diterapkan di sistem kelistrikan kabel bawah tanah di Indonesia dan diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan oleh peneliti berikutnya dikarenakan pembahasan ini cukup kompleks dan luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada PT. Rekayasa Industri atas kesempatan yang telah diberikan dalam proses pengambilan data sehingga penelitian ini dapat selesai dan berguna untuk pengembangan penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Northeast Power Systems, Inc, Capacitor Bank Switching Transients, 1-8, 2012.
- [2] Ametani, A., Nagaoka, N., Baba, Y., Ohno, T., & Yamabuki, K, Power System Transients Theory and Applications, 2017
- [3] Ametani, A., Ohno, T., & Nagaoka, N, Cable System Transients Theory, Modeling and Simulation, 2015
- [4] Woodworth, J, The Sheath Voltage Limiter. Arrester Facts, 32, 1–9, 2013.
- [5] P. Maneepeth, P. Thararak, P. Jirapong and C. Karaaom, "Mitigation of Induced Currents and Overvoltages in Metallic Sheath of 115 kV Underground Cable Using Sheath Voltage Limiter and Parallel Ground Continuity Conductor," 2021 9th International Electrical Engineering Congress (iEECON), Pattaya, Thailand, pp. 61-64, 2021.
- [6] Commission, I. E, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages, IEC 60840, 2011
- [7] Moore, G. F, Electric Cables Handbook. In Electronics and Power, 1997
- [8] Surasak Phanthurat, Apibal Pruksanubal, "Sheath Voltages and Currents in 230kV Oil-Filled Underground Power Cables", Applied Mechanics and Materials, vol.781, pp.276, 2015.
- [9] Olga Vlachokyriakou, George Peppas, Argiris Kagiannas, Panagiotis Raptis, Zafiris Politis, Eleftheria Pyrgioti, Ioannis Gonos, "A New Approach for Sheath Voltage Limiters in Medium Voltage systems", 2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP), pp.518-522, 2022.
- [10] P. Nichols and J. Yarnold, "The effect of an underground to overhead transition point on the specification of sheath voltage limiters in underground networks," 2009 Australasian Universities Power Engineering Conference, Adelaide, SA, Australia, pp. 1-6, 2009
- [11] D. Cao, X. Liu and X. Deng, "The Suitability Analyses of Sheath Voltage Limiters for HV Power Cable Transmission Lines," 2019 2nd International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE), Guangzhou, China, pp. 404-408, 2019

- [12] K. V. Gouramanis, C. G. Kaloudas, T. A. Papadopoulos, G. K. Papagiannis and K. Stasinou, "Sheath voltage calculations in long medium voltage power cables," 2011 IEEE Trondheim PowerTech, Trondheim, Norway, pp. 1-7, 2011.
- [13] Qing Chi, Lu Pu, Hao-fei Sun, Wei Duan, Zhe Hou, Xue-feng Zhao, Zeli Ju, Jiaming Li, Junbo Deng, "Research on the Characteristics of Transient Sheath Overvoltage in Underground Cable Lines", 2020 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), pp.1-4, 2020.
- [14] "IEEE Draft Guide for Bonding Sheaths and Shields of Single-Conductor Power Cables Rated 5 - 500 kV," in IEEE P575/D11, March 2012 , vol., no., pp.1-80, 14 Aug. 2012.
- [15] A. Das and C. C. Reddy, "Investigations on Sheath Voltage and Current During Short-Circuited Condition On a Cross-Bonded Cable," 2022 IEEE 10th Power India International Conference (PIICON), New Delhi, India, pp. 1-5, 2022.