

Analysis of Load Diversion Due to AAACS Cable Breaks in the Bandar Jaya Lampung Distribution System

^{1*}M.Khoirul, ²I Made Wartana, ¹Irrine Budi S

^{1,2,3}Magister Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

¹mkhoirulanam.anam.com@gmail.com, ²mwartana@lecturer.itn.ac.id, ³irrine@lecturer.itn.ac.id

Article Info

Article history:

Received: 17 September 2025

Revised: 26 September 2025

Accepted: 18 November 2025

Keyword:

Distribution System

AAAC-S

Lightning Strike

ETAP

Mitigation

ABSTRACT

The electric power distribution system is the final component that is connected to consumers in the energy transmission chain. This distribution system is particularly vulnerable lightning strikes that can cause conductor cables to break. The 20 kV distribution network of the Rambutan Feeder, under Bandar Jaya ULP in Lampung, experienced a lightning strike that resulted in the disconnection of the AAACS cable, leading to a power outage in the service area. The geographical conditions of the Lampung region, which has a high isokeraunic level, contribute significantly to the likelihood of lightning-related disturbances. Based on real data, this study analyzes the impact of disturbances caused by lightning strikes on Feeder and proposes mitigation strategies to minimize the effects of resulting power outages. Analysis using ETAP shows that the recommendation to divert the load supply to the arimbi feeder is able to maintain the bus voltage at a rating of 19,86 KV.

Copyright © 2025 Jurnal JEETech.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Irrine Budi Sulistiawati

Magister Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

Email: irrine@lecturer.itn.ac.id

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan komponen terakhir yang terhubung ke konsumen dari sisi penyaluran energi listrik. Sistem distribusi rentan mengalami sambaran petir yang mengakibatkan putusnya kabel penghantar. Jaringan distribusi 20 kV Penyulang Rambutan, ULP Bandar Jaya Lampung, mengalami sambaran petir dan mengakibatkan putusnya kabel AAACS sehingga terjadi pemadaman listrik di wilayah layanan. Kondisi geografis Lampung dengan tingkat isokeraunik yang tinggi turut berkontribusi terhadap potensi terjadinya gangguan sambaran petir tersebut. Menggunakan data real, penelitian ini melakukan analisa dampak gangguan yang disebabkan oleh sambaran pada penyulang dan melakukan strategi mitigasi untuk meminimalkan dampak pemadaman yang diakibatkan dari gangguan tersebut. Analisis menggunakan ETAP menunjukkan rekomendasi pengalihan suplai beban ke penyulang arimbi mampu menjaga tegangan bus berada pada rating 19,86 kV.

I. Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari jaringan penyaluran energi listrik yang meneruskan aliran dari saluran transmisi tegangan tinggi menuju ke pelanggan dengan kapasitas tertentu yang disalurkan [1]. Sistem distribusi yang handal akan memberi pengaruh yang besar pada keberlangsungan pasokan energi listrik di konsumen. Jika kita melihat struktur hierarki sistem distribusi, maka sistem ini merupakan titik akhir dalam rangkaian penyaluran energi listrik sampai kepada konsumen atau pelanggan akhir. Namun, meski terletak paling ujung dalam rangkaian suplay energi listrik, sistem distribusi memiliki banyak kompleksitas di dalamnya seperti proses operasional, model jaringannya, gangguan yang terjadi, nilai ekonomis, yang menarik untuk dilakukan analisa dan mengkaji studi kasus yang ada [2]. Selain itu peranan system distribusi yang berperan langsung dalam kualitas pelayanan energi listrik, tidak dapat terhindarkan dengan adanya gangguan yang terjadi pada sistemnya.

Analisis keandalan sistem distribusi semakin menarik perhatian terutama tertuju pada jaringan distribusi yang paling sering mengalami kegagalan. Dalam sebuah studi, menurut [3] 94 % dari total durasi pemadaman (SAIDI) dan 92 % dari jumlah kejadian pemadaman (SAIFI) berasal dari sistem distribusi, bukan dari sistem transmisi atau pembangkitan. Sedangkan menurut [4],[5],[6] sebagian besar pemadaman listrik disebabkan oleh kegagalan sistem distribusi akibat kegagalan peralatan. Gangguan pada sistem distribusi ini, meskipun berskala lokal, dapat menyebabkan pemadaman yang luas dan berdampak langsung terhadap kehidupan masyarakat serta aktivitas ekonomi [7]. Gangguan pada sistem distribusi tidak hanya mempengaruhi keandalan pasokan listrik, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan biaya operasional dan pemeliharaan yang ditanggung oleh pemasok atau PLN.

Kabel di dalam sistem distribusi tenaga listrik, berfungsi sebagai saluran utama untuk menyalurkan arus listrik dari gardu distribusi ke konsumen atau pelanggan. Kualitas kabel memberi pengaruh besar pada keandalan, efisiensi, dan keselamatan sistem distribusi [8]. Kabel yang tidak memenuhi standar teknis dan mutu dapat menimbulkan berbagai jenis gangguan, mulai dari peningkatan rugi-rugi daya, panas berlebih, hingga kegagalan sistem total seperti pemutusan jaringan distribusi.

Menurut [9] salah satu penyebab utama kegagalan pada sistem distribusi adalah kerusakan kabel akibat kualitas material yang buruk, seperti tingkat kemurnian logam kabel rendah, ketebalan isolasi yang tidak seragam, serta lemahnya ketahanan terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Kualitas kabel memegang peranan vital dalam menjamin keandalan sistem distribusi listrik [10]. Kabel yang tidak memenuhi standar kualitas dapat menjadi penyebab utama kerusakan fisik maupun gangguan fungsional dalam jaringan distribusi. Salah satu bentuk gangguan yang paling serius adalah putusnya kabel, yang dapat langsung mengakibatkan pemadaman jaringan secara tiba-tiba di wilayah layanan terkait.

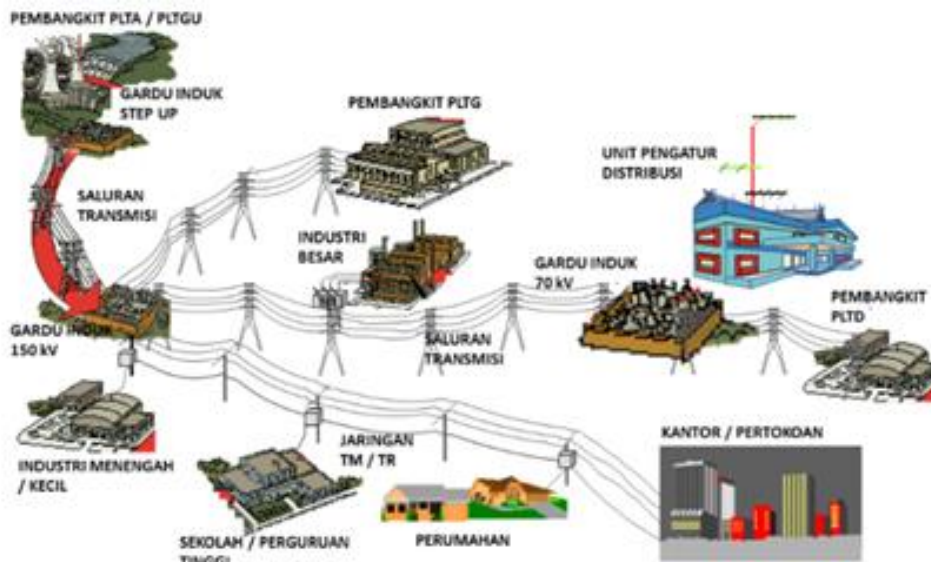
Gangguan yang cukup memberi dampak besar pada sistem distribusi adalah petir. Gangguan yang tidak dapat dikontrol adalah petir [11]. Petir merupakan kejadian alam yang terjadi karena pelepasan energi yang sangat besar, bersifat acak dan intersitas terjadinya bervariasi sehingga menjadikan tantangan untuk mitigasi dan pengendalian. Karakteristik petir yang berdurasi singkat dan tidak bisa diprediksi mendorong banyak penelitian terkait bagaimana mengontrol atau mencegah kejadiannya. Hal yang harus diperhatikan adalah besarnya tegangan dan besar arus yang dihasilkan oleh sambaran petir dapat menyebabkan kerusakan serius pada peralatan listrik, mulai dari koagulasi jaringan hingga kerusakan permanen pada isolator dan konduktor, bahkan mampu mengancam keselamatan jiwa [12],[13].

Tingkat isokeraunik, yang merepresentasikan rata-rata hari guntur per tahun di suatu lokasi geografis, merupakan parameter krusial dalam memahami frekuensi dan distribusi sambaran petir [14],[15]. Lampung, khususnya di Penyulang Rambutan ULP Bandar jaya berada pada dataran rendah sepanjang sungai way seputih dan way pengubuan, merupakan daerah persawahan dengan ketinggian antara 50-500 mdpl dan mempunyai tingkat isokeraunik yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh [16] melakukan analisa komparatif peta kerapatan petir terkait tingkan keraunic, hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat keraunik memberi kontribusi memberi pengaruh pada frekuensi terjadinya petir sehingga investigasi lebih lanjut perlu dilakukan. Dalam kondisi real di penyulang Rambutan ULP Bandar Jaya, telah terjadi sambaran petir pada kabel AAACS hingga putus dan mengakibatkan padamnya listrik [17]. Investigasi dari kondisi lapangan kejadian seperti ini banyak terjadi. Dalam penelitian ini, berdasar pada terjadinya pemadaman pada sistem distribusi akan dilakukan mitigasi dan analisa terkait dengan kejadian tersebut. Komponen yang mempengaruhi metode lokasi gangguan seperti sistem tidak seimbang, efek kapasitansi, pembangkitan terdistribusi, dan topologi distribusi terkait dengan penjelasan metode tersebut mengadaptasi pada data real yang ada [17].

II. Metode Penelitian

A. Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari penyaluran daya listrik yang dibangkitkan oleh generator di pembangkitan hingga konsumen [18].



Gambar 1. Sistem Distribusi

Gambar 1 menunjukkan sistem penyaluran tenaga listrik secara keseluruhan, dari pembangkit hingga ke konsumen [19]. Rating tegangan pada sistem distribusi di tahap ini, biasanya sudah diturunkan dari level transmisi (500kV/150 kV/70 kV) menjadi tegangan menengah (20 kV), sebelum akhirnya diturunkan lagi ke tegangan rendah (0.4kV/0.22kV).

B. Gangguan Petir Pada Sistem

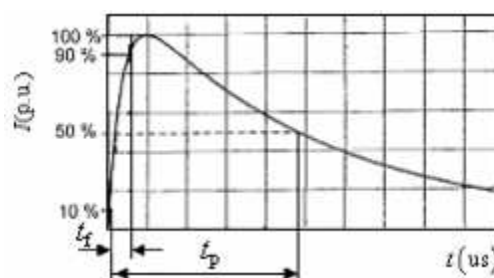
Petir merupakan fenomena alam yang memiliki potensi destruktif cukup besar, khususnya sistem distribusi listrik. Kilatan petir yang memiliki energi tinggi dapat mengakibatkan lonjakan tegangan transien yang merusak peralatan, mengakibatkan pemadaman listrik dan kerugian finansial yang besar [20]. Dampak petir pada sistem distribusi listrik meliputi kerusakan isolasi, kegagalan transformator, dan gangguan operasional yang serius, sehingga perlu dilakukan mitigasi risiko [21].

Gangguan petir pada sistem distribusi listrik seringkali diwujudkan dalam bentuk surja tegangan frekuensi tinggi yang dapat merambat melalui saluran udara dan mempengaruhi transformator terhubung. Fenomena ini dapat memicu kegagalan isolasi dan kerusakan permanen pada komponen vital sistem distribusi, termasuk trafo daya dan peralatan proteksi [22].

Persamaan matematika untuk menggambarkan bentuk gelombang arus petir ditunjukkan pada persamaan (1) berikut ini [23]:

$$i(t) = I(e^{-\alpha t} e^{-\beta t}) \quad (1)$$

Konstanta α dan β adalah konstanta yang digunakan untuk menentukan impuls gelombang dari arus petir.



Gambar 2. Bentuk Gelombang Exponensial

Gambar 2 menunjukkan bentuk gelombang arus petir sebagai gelombang impuls eksponensial digambarkan juga waktu kenaikan t_r dan panjang pulsa t_p . Mengacu pada parameter bentuk gelombang t_r , t_p dan I , maka α dan β ditentukan dengan memenuhi persamaan analitis dari bentuk gelombang arus petir. Besar arus gangguan akibat sambaran petir langsung yang terjadi pada penghantar tanpa kawat tanah dapat ditentukan menggunakan:

$$I = \frac{i_0}{2} \quad (2)$$

Dengan I adalah besar arus petir pada tempat tersambar, I_0 merupakan besar arus yang menyambar obyek dengan tahanan nol atau tanpa adanya kawat tanah. Sedangkan besar arus minimum yang dapat mengakibatkan lompatan api dapat di tentukan sebagai berikut:

$$I = \frac{V_{50\%}}{R + \delta ht} \quad (3)$$

Pada persamaan (3) dapat kita lihat I_0 adalah arus minimum yang dapat menyebabkan flasover pada penghantar, sedangkan R merupakan resistansi kaki tiang dan ht sebagai tinggi kawat tiang.

C. Kabel AAAC-S

Kabel atau sering dikatakan penghantar memiliki peran penting dalam penyaluran energi listrik, namun sering mengalami kegagalan pada bagian isolasi, terutama akibat panas yang mengakibatkan kerusakan pada isolasinya [24]. Perencanaan sistem yang baik perlu dilakukan, terutama terkait pemilihan bahan kabel yang tepat, baik dari segi ukuran, sifat, karakteristik, maupun harga bahan merupakan factor krusial untuk memastikan kehandalan dan efisiensi sistem yang dibuat.

Kabel AAAC-S banyak digunakan pada sistem distribusi karena kemampuannya dalam menghantarkan listrik yang baik, serta memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Selain itu, sifat ketahanannya dari korosi serta umur penggunaan yang lama maka kabel ini menjadi pilihan untuk digunakan terutama pada daerah dengan letak geografis atau kondisi alam yang berat [24], [25].

Fungsi utama dari kabel AAAC-S adalah menyalurkan energi listrik dari gardu induk atau saluran distribusi utama ke konsumen melalui feeder. Kabel AAAC-S ini banyak digunakan pada sistem distribusi karena kabel ini merupakan konduktor listrik yang memiliki lapisan isolasi untuk melindungi dan mencegah kebocoran arus listrik [25],[26].

D. Pengalihan Beban

Rekonfigurasi sistem distribusi adalah proses mengubah topologi jaringan distribusi dengan membuka dan menutup sakelar untuk memenuhi tujuan tertentu [27]. Kondisi perubahan topologi yang dilakukan untuk mengalihkan aliran daya pada jaringan distribusi, sehingga kinerja sistem tersebut dapat lebih baik. Beberapa perubahan yang dilakukan antara lain untuk pengurangan rugi-rugi, penyeimbangan beban, memperbaiki profil tegangan, pemulihan sistem setelah gangguan dengan cepat, serta pengurangan durasi pemadaman selama jadwal pemeliharaan. Kegiatan perubahan topologi ini dapat menyebabkan beberapa pemutusan pada pelanggan dalam jangka waktu singkat, terutama jika penyulang mendapat suplai tidak dari satu gardu induk.

Terjadinya gangguan yang mengakibatkan kontinuitas layanan listrik ke konsumen terhenti menimbulkan ketidaknyamanan. Strategi mitigasi yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan manuver beban untuk memperpendek durasi pemadaman dan menjaga kontinuitas layanan terhadap pelanggan yang terdampak. Dalam melakukan manuver beban pada sistem distribusi tegangan menengah, perancangan harus mempertimbangkan kapasitas hantar arus feeder, kapasitas transformator utama, serta batasan reliabilitas sistem [28]. Manuver dapat dianggap aman, bila pelimpahan arus dari penyulang ke penyulang lain tidak melebihi setting proteksi dan kapasitas hantar arus dari peralatan termasuk konduktor, recloser, LBS, dan transformator.

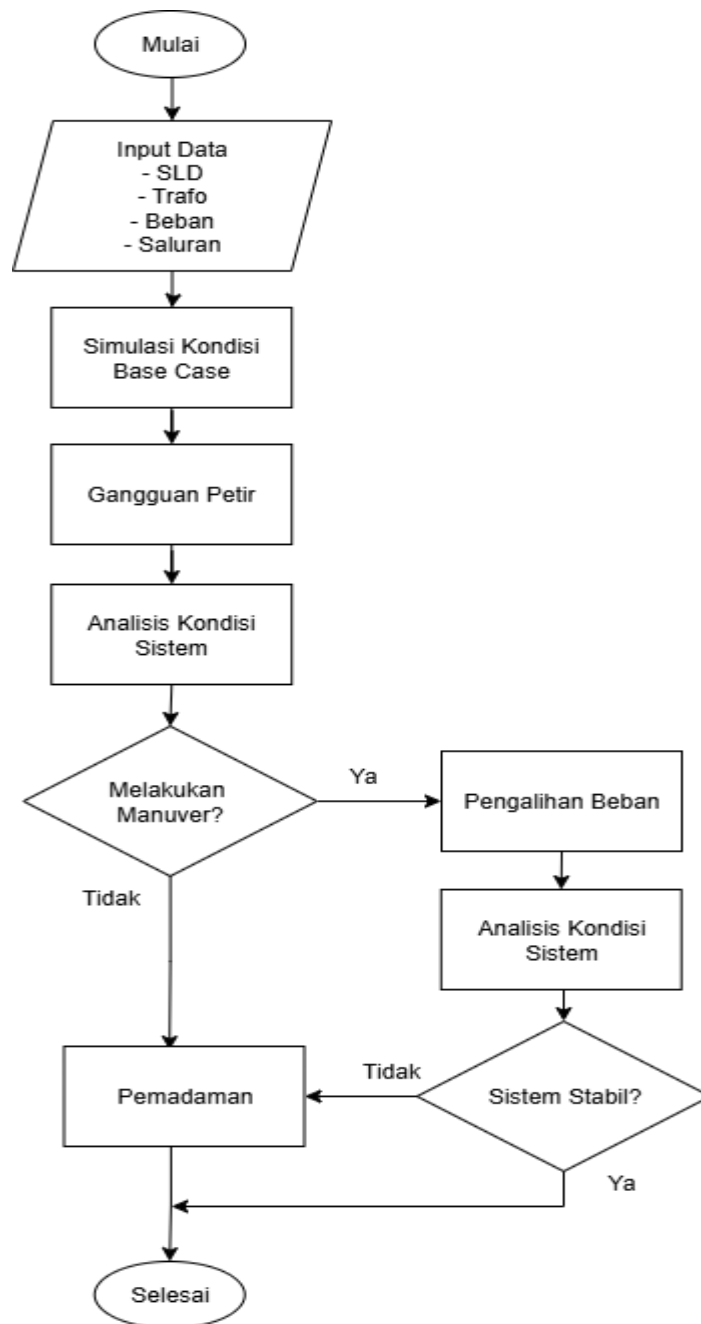
E. Electrical Transient Analyzer Program / ETAP

Permasalahan yang timbul pada manuver beban adalah terjadinya lonjakan arus atau over current akibat perbedaan fase atau tegangan antar penyulang. Maka perlu dilakukan simulasi sistem yang memastikan

bahwa aliran daya dari penyulang pengganti mampu mengakomodir beban yang ada [29]. Penelitian disini menggunakan software etap untuk analisa sistem sebelum dan sesudah gangguan, memastikan bahwa manuver beban yang dilakukan menjamin pelayanan kepada konsumen dapat terpenuhi dengan kualitas tegangan sesuai dengan yang ditentukan. Sistem harus dipastikan bahwa arus yang mengalir setelah pelimpahan beban masih berada dalam batas kapasitas hantar arus dari konduktor, recloser, LBS maupun transformator distribusi. Penggunaan etap pada penelitian ini memungkinkan untuk mendapatkan visualisasi profil tegangan pada setiap bus dengan lebih detail, sehingga kemungkinan terjadinya undervoltage maupun overvoltage pada sistem dapat diantisipasi.

F. Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



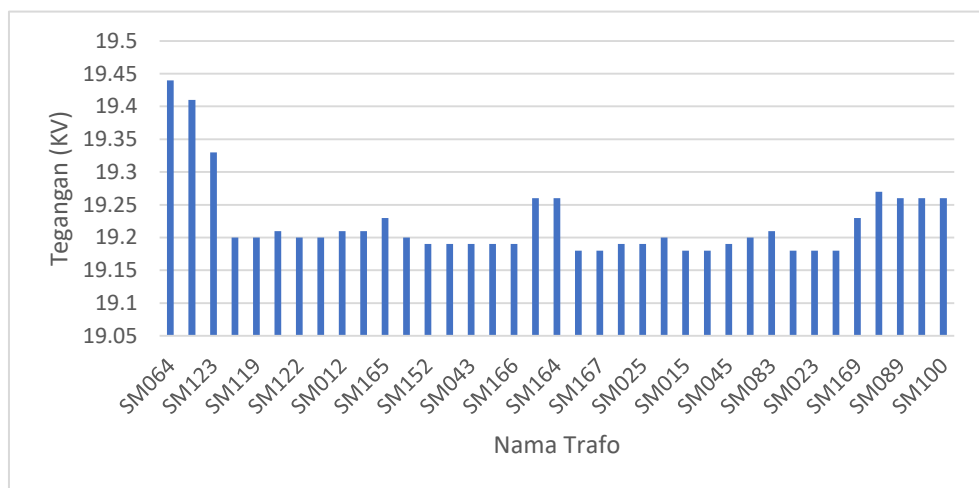
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang dilakukan, dimulai dengan pengumpulan data single line diagram sistem yang digunakan, transformator, beban serta saluran. Data ini digunakan untuk membuat pemodelan penyulang menggunakan Etap19.

III. Hasil dan Pembahasan

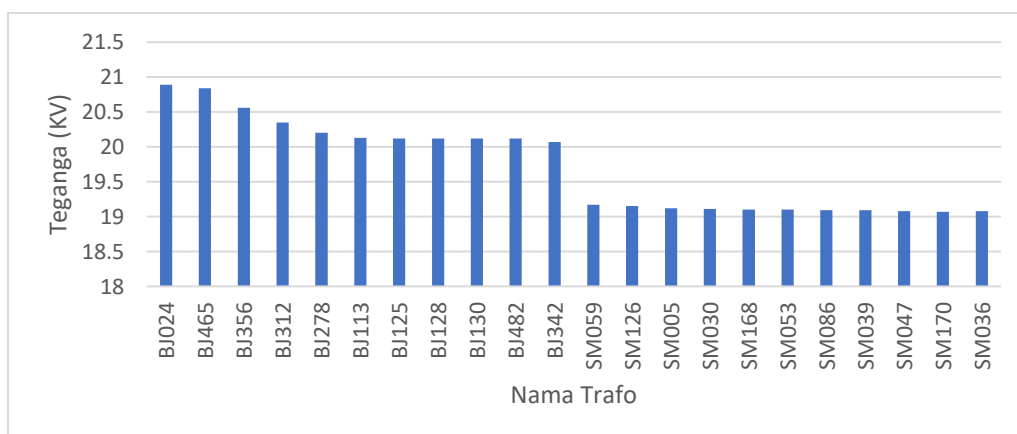
Penelitian disini menggunakan sistem distribusi tegangan menengah 20 kV di Penyulang Rambutan di ULP Bandar Jaya Lampung. Sistem menggunakan konduktor AAAC-S 150 mm² sebagai penghantar utama, dengan panjang saluran konduktor 85,67 km, dan beban total sebesar 15,08 MVA. Data yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan laporan gangguan kabel terputus akibat petir pada hari Minggu 23 Februari 2025 jam 02:23 wib [17]. Topologi jaringan pada penyulang rambutan memiliki 77 bus sedangkan penyulang arimbi memiliki 78 bus.

Simulasi pertama yang dilakukan adalah mendapatkan kondisi awal sistem. Dari simulasi yang dilakukan diperoleh kondisi profil tegangan sistem awal seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Profil Tegangan Penyulang Rambutan

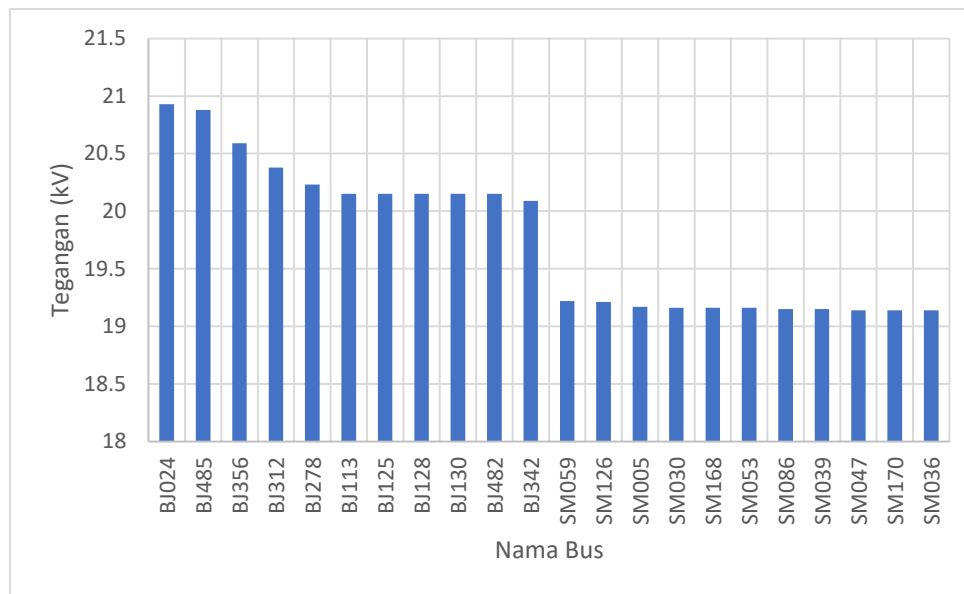
Gambar 4 menggambarkan kondisi profil tegangan penyulang rambutan berada pada kisaran 19,18 – 19,44 KV. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi real pada penyulang tersebut berada dibawah nilai tegangan yang direkomendasikan oleh PLN yaitu di kisaran kurang lebih 5% dari rating tegangan. Sedangkan kondisi arus pada penyulang ini berada pada rating 17,1 A. Letak bus yang dekat dengan gardu induk memberi pengaruh pada besar arus di bus tersebut. Pada penyulang ini arus paling rendah terletak pada bus yang paling jauh dari gardu induk sebesar 10 A.



Gambar 5. Profil Tegangan Penyulang Arimbi

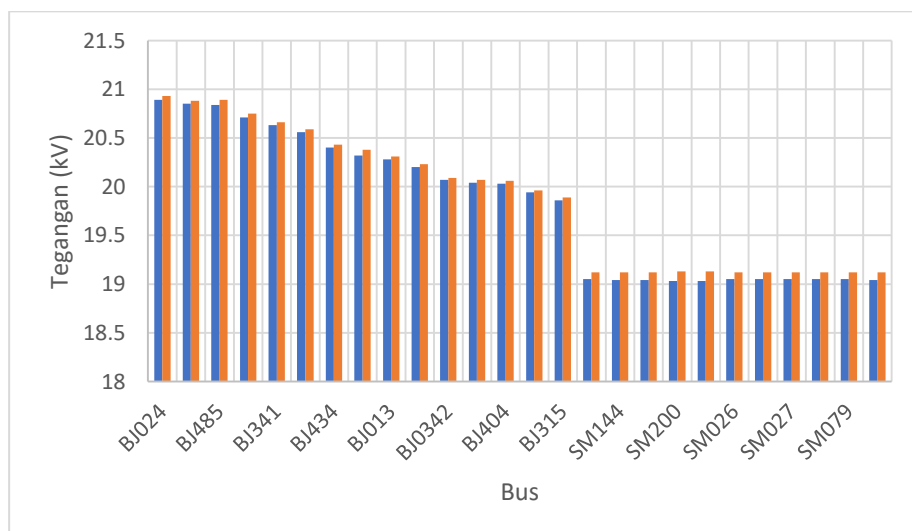
Profil tegangan pada penyulang Arimbi ditunjukkan pada gambar 5. Dari profil tegangan dapat kita lihat kisaran tegangan pada penyulang tersebut berada pada 19,03 KV hingga 20,89 KV. Pada penyulang ini terdapat bus yang memiliki rating tegangan diatas batas yang direkomendasikan, hal ini menunjukkan bahwa distribus tegangan antar bus pada penyulang arimbi tidak seimbang. Sedangkan arus pada penyulang tersebut berada pada rentang 3,5 – 244 A.

Ketika terjadi gangguan petir dan mengakibatkan putusnya penghantar, beberapa bus melokalisir gangguan tersebut dengan membuka circuit breaker. Hal ini mengakibatkan beberapa bus kehilangan suplai daya dan berpotensi mengalami pemadaman. Manuver yang dilakukan yaitu memasukkan penyulang lain untuk menanggung beban di bus tersebut. Penyulang arimbi dipilih untuk memanuver beban dari penyulang rambutan yang mengalami gangguan.



Gambar 6. Profil Tegangan Penyulang Arimbi Setelah Gangguan

Profil tegangan di penyulang arimbi setelah mendapat tambahan beban dari penyulang rambutan yang terganggu ditunjukkan pada gambar 6. Hasil simulasi menunjukkan kisaran tegangan di penyulang arimbi berada pada rentang 19,12 – 20,93 KV. Apabila dibandingkan dengan kondisi awal sebelum mendapat tambahan beban, rating tegangan pada setiap bus di penyulang arimbi tidak terlalu besar mengalami perubahannya. Gambar 7 menunjukkan besar perubahan di sebagian bus yang ada di penyulang arimbi.



Gambar 7. Perbedaan Profil Tegangan Penyulang Arimbi Sebelum dan Setelah Tambahan Beban

Gambar 7 merupakan sebagian tampilan profil tegangan di bus arimbi sebanyak 30 bus dari 124 bus. Rata rata besar tegangan di keseluruhan bus arimbi adalah 19,86 KV

IV. Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan pada paper ini mengacu pada kejadian real yang terjadi di sistem distribusi bandar lampung menunjukkan bahwa manuver yang dilakukan yaitu melakukan pengalihan beban menunjukkan rekomendasi terbukti efektif dan dapat dilakukan yang ditunjukkan dengan hasil tegangan di setiap beban berada dalam nilai yang diijinkan yaitu 19,86 KV dari rating tegangan sistem 20 KV. Mitigasi lebih lanjut perlu dilanjutkan untuk memberikan rekomendasi lain yang dapat dilakukan untuk menjamin kontinuitas pelayanan kepada konsumen. Memasukkan karakteristik jenis kabel dan isolator yang belum dipertimbangkan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk penelitian kedepannya.

V. Daftar Pustaka

- [1] A. J. Pansini, *Guide To Electrical Power Distribution Systems*, 6th Ed. Lilburn, Ga : Boca Raton, Fl: Fairmont Press ; Distributed By Marcel Dekker/Crc Press, 2005.
- [2] T. Gönen, *Electric Power Distribution Engineering*, 3rd Ed. Taylor & Francis, 2014.
- [3] J. H. Eto, K. H. Lacomme, H. C. Caswell, And D. Till, "Distribution System Versus Bulk Power System: Identifying The Source Of Electric Service Interruptions In The Us," *Iet Generation Trans & Dist*, Vol. 13, No. 5, Pp. 717–723, Mar. 2019, Doi: 10.1049/Iet-Gtd.2018.6452.
- [4] M. S. S. Fogliatto *Et Al.*, "Power Distribution System Interruption Duration Model Using Reliability Analysis Regression," *Electric Power Systems Research*, Vol. 211, P. 108193, Oct. 2022, Doi: 10.1016/J.Epsr.2022.108193.
- [5] "Most Common Causes Of Power Outages," *Enerson Electrical*. [Online]. Available: <https://Enersoelectrical.Com.Au/Blog/Common-Causes-Power-Outages>
- [6] H. Sun, F. Li, C. Sticht, And S. Mukherjee, "Outage Cause Classification Of Power Distribution Systems With Machine Learning And Real-World Data," In *2022 Ieee Power & Energy Society General Meeting (Pesgm)*, Denver, Co, Usa: Ieee, Jul. 2022, Pp. 1–5. Doi: 10.1109/Pesgm48719.2022.9916833.
- [7] P. W. Billinton R., "Impacts Of Station-Related Failures On Distribution System Reliability," *Electric Power Components And Systems*, Vol. 29, No. 11, Pp. 965–976, Nov. 2001, Doi: 10.1080/153250001753239194.
- [8] C.L. Wadhawa, *Electrical Power Systems*. New Academic Science, 2012.
- [9] E. Csanyi, "The Most Common Failure Modes Of Electrical Equipment In Distribution Systems," *Electrical Engineering Portal*, Oct. 25, 2024. [Online]. Available: <https://Electrical-Engineering-Portal.Com/Failure-Modes-Electrical-Equipment-Distribution-Systems>
- [10] "An Insight Into The Mv Cable Distribution Network, Faults, Maintenance And Why You Should Look For Basec Product Approval," *Basec*, Feb. 28, 2023. [Online]. Available: <https://Www.Basec.Org.Uk/News/2023/2/28/An-Insight-Into-The-Mv-Cable-Distribution-Network-Faults-Maintenance-And-Why-You-Should-Look-For-Basec-Product-Approval/>
- [11] M. Suheri, Y. Yulisman, And M. Kamil, "Analisis Penurunan Gangguan Akibat Petir Pada Transmisi 150 Kv Penghantar Maninjau – Simpang Empat Menggunakan Dgs (Direct Grounding System)," *Err*, Vol. 1, No. 3, Pp. 183–188, Aug. 2022, Doi: 10.33559/Err.V1i3.1254.
- [12] O. B. Wardhana And R. Hidayat, "Implementation Of Medium Voltage Automatic Change Over (Aco-Mv) Device As Power Outage Reduction For Premium Customers At Pt Pln (Persero) Up3 Kramat Jati," *Teknom*, Vol. 6, No. 2, Pp. 96–103, Jul. 2022, Doi: 10.31943/Teknom.V6i2.144.

-
- [13] S. Rahardja, A. Y. Handaya, And A. Barmawi, "Pengaruh Lama Paparan Trauma Listrik Terhadap Sistem Saraf Traktus Gastrointestinal Pada Tikus Wistar Galur Murni," *Intisari Sains Medis*, Vol. 12, No. 2, Pp. 504–507, Jul. 2021, Doi: 10.15562/Ism.V12i2.1001.
- [14] Sukamdi, Sri Wahyuni Dali, Chandra Wiharya, And Abdu Alimil Asror, "Perencanaan Instalasi Penangkal Petir Pada Bangunan Industri Furniture," *Elposys*, Vol. 9, No. 2, Pp. 52–57, Feb. 2023, Doi: 10.33795/Elposys.V9i2.616.
- [15] Syafriyuddin, M. Suyanto, S. Subandi, And M. E. Efendi, "Analisa Perencanaan Penangkal Petir Pada Gedung Kampus Bima Sakti Ist Akprind Yogyakarta," *Prosidi Sem Nas Teknoka*, Vol. 4, Pp. E1–E8, Dec. 2019, Doi: 10.22236/Teknoka.V4i0.3978.
- [16] "Lightning Density Maps Obtained By Keraunic Levels, Lightning Detection Network Data And Satellite Observations," In *2011 International Symposium On Lightning Protection*, Fortaleza: Ieee, Oct. 2011.
- [17] Pln Ulp Up3 Metro, "Monitoring Aktifitas Penyulang Ulp Up3 Metro," Jul. 2025.
- [18] D. F. Iman, P. Khaerunnisa, H. M. Fitri, And D. Aribowo, "Analisis Operasional Sistem Distribusi Tegangan Menengah Ke Tegangan Rendah Di Gardu Induk Serang," *Jepca*, Vol. 7, No. 2, P. 66, Dec. 2024, Doi: 10.33087/Jepca.V7i2.119.
- [19] P. M. Anderson, *Analysis Of Faulted Power Systems*. In Ieee Press Series On Power Engineering. New York Chichester Weinheim: Ieee, Wiley-Interscience, 1995. Doi: 10.1109/9780470544129.
- [20] E. Stracqualursi, R. Araneo, A. Andreotti, J. B. Faria, F. H. Silveira, And S. Visacro, "Effects Of Macromodeling On The Simulation Of Transient Events Caused By Direct Lightning To Overhead Power Lines," *Electric Power Systems Research*, Vol. 235, P. 110866, Oct. 2024, Doi: 10.1016/J.Epsr.2024.110866.
- [21] A. R. J. Araujo And S. Kurokawa, "A Tutorial About Tower Transmission Models For The Analyses And Prediction Of Backflashovers," *Ieee Latin Am. Trans.*, Vol. 15, No. 8, Pp. 1432–1438, 2017, Doi: 10.1109/Tla.2017.7994789.
- [22] Z. Mohammed, H. Hizam, And C. Gomes, "Lightning-Induced Transient Effects In A Hybrid Pv–Wind System And Mitigation Strategies," *Electric Power Systems Research*, Vol. 174, P. 105882, Sep. 2019, Doi: 10.1016/J.Epsr.2019.105882.
- [23] T. Horváth, *Understanding Lightning And Lightning Protection: A Multimedia Teaching Guide*, 1st Ed. Wiley, 2006. Doi: 10.1002/9780470030875.
- [24] D. S. Yansuri, S. Subianto, And M. A. Akbar, "Evaluasi Jenis Kabel Dari Tembaga Ke Aluminium Untuk Distribusi Power Supply 20 Kv Coal Conveyor," *Jte*, Vol. 11, No. 2, Pp. 9–17, Dec. 2021, Doi: 10.36546/Jte.V11i2.488.
- [25] R. B. Kalombo, J. M. G. Martínez, J. L. A. Ferreira, C. R. M. Da Silva, And J. A. Araújo, "Comparative Fatigue Resistance Of Overhead Conductors Made Of Aluminium And Aluminium Alloy: Tests And Analysis," *Procedia Engineering*, Vol. 133, Pp. 223–232, 2015, Doi: 10.1016/J.Proeng.2015.12.662.
- [26] R. B. Kalombo, G. Reinke, T. B. Miranda, J. L. A. Ferreira, C. R. M. Da Silva, And J. A. Araújo, "Experimental Study Of The Fatigue Performance Of Overhead Pure Aluminium Cables," *Procedia Structural Integrity*, Vol. 19, Pp. 688–697, 2019, Doi: 10.1016/J.Prostr.2019.12.075.
- [27] R. D. Mohammedi, R. Zine, M. Mosbah, And S. Arif, "Optimum Network Reconfiguration Using Grey Wolf Optimizer," *Telkomnika*, Vol. 16, No. 5, P. 2428, Oct. 2018, Doi: 10.12928/Telkomnika.V16i5.10271.
- [28] Z. Liu, R. Xiong, Z. Tian, X. Liang, And F. Yan, "Evaluation Of Maximum Power Supply Carrying Capacity Of Medium-Voltage Distribution Network Considering Feeder Segment Transfer," *Electr Eng*, Vol. 107, No. 1, Pp. 433–444, Jan. 2025, Doi: 10.1007/S00202-024-02532-3.
-

- [29]C. J. Wu, H. S. Huang, And J. H. Too, “Using Phase Shifter And Oltc To Improve Reliability During Load Transferring And System Protection,” *Amr*, Vol. 732–733, Pp. 976–980, Aug. 2013, Doi: 10.4028/www.Scientific.Net/Amr.732-733.976.