



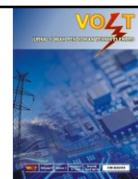
P-ISSN: 2528-5688
E-ISSN: 2528-5696

VOLT

Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro

Journal homepage: jurnal.untirta.ac.id/index.php/VOLT

Vol. 1, No. 1, Oktober 2016, 29-36



ANALISIS KERUGIAN DAYA PADA SALURAN TRANSMISI TEGANGAN EKSTRA TINGGI 500 KV UNIT PELAYANAN TRANSMISI CILEGON BARU - CIBINONG

Didik Aribowo¹, Desmira¹

¹Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang 42117, Indonesia
E-mail: d_aribowo@untirta.ac.id, ides_syahidah@yahoo.com

Diterima: 02 September 2016. Disetujui: 02 Oktober 2016. Dipublikasikan: 07 Oktober 2016

Abstrak

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia terus meningkat sesuai dengan laju pertumbuhan ekonomi dan industri serta penambahan penduduk. Sistem kelistrikan antar pusat-pusat pembangkit dan pusat-pusat beban pada umumnya terpisah dalam ratusan bahkan ribuan kilometer. Saluran-saluran transmisi membawa tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkitan ke pusat-pusat beban melalui saluran tegangan tinggi 150 kV atau melalui saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV. Trafo penurunan akan merendahkan tegangan ini menjadi tegangan subtransmisi 70 kV yang kemudian di gardu induk diturunkan lagi menjadi tegangan distribusi primer 20 kV. Pada gardu induk distribusi yang tersebar di pusat-pusat beban tegangan diubah oleh trafo distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 V. Pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi terdapat rugi - rugi tegangan dan rugi - rugi daya yang disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah faktor korona dan faktor kebocoran isolator yang biasanya banyak terjadi pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi, sehingga mengakibatkan tegangan mengalami penurunan atau biasa disebut dengan jatuh tegangan. Berdasarkan dari hal tersebut diatas, maka dilakukan studi tentang kerugian daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi *single circuit* Cilegon Baru - Cibinong, sehingga dapat memberikan suatu gambaran-gambaran tentang kerugian-kerugian yang terjadi pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi dengan cara menghitung berapa besar rugi daya yang terjadi pada saluran tersebut yang nantinya dapat berguna dalam kaitannya dengan sistem transmisi tenaga listrik terutama pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi.

© 2016 Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, FKIP UNTIRTA

Kata kunci: rugi daya, sutet, upt cilegon baru-cibinong.

PENDAHULUAN

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia terus meningkat sesuai dengan laju pertum-

buhan ekonomi dan industri serta penambahan penduduk. Semua sektor pembangunan diarahkan untuk mampu mempersiapkan diri

untuk menghadapi era industrialisasi. Berbagai investasi dalam bidang industri saat ini telah banyak dilakukan oleh pihak swasta baik melalui penanaman modal dalam negeri (PMDN) maupun penanaman modal asing (PMA). Sedangkan dari pihak pemerintah sendiri rupanya sudah cukup banyak yang dikerjakan melalui sektor industri, antara lain melalui kiprah Badan Usaha Milik Pemerintah (BUMN) yang tergabung dalam kelompok industri strategis dan juga melalui industri petrokimia, industri semen, industri logam, dan industri berat lainnya. Tidak bisa dipungkiri bahwa semua kegiatan industri seperti di atas dapat berjalan apabila tenaga listrik yang tersedia cukup memadai. Untuk mengatasi kebutuhan tenaga listrik tersebut, pihak pemerintah juga sudah memikirkannya antara lain melalui pembangunan pembangkit tenaga listrik berskala besar seperti yang ada di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Suralaya Jawa Barat, PLTU Payton Jawa Timur dan PLTU Ujung Jati Jawa Tengah yang pada saat ini sedang dalam tahap pembangunan (Susilo, Sukmadi, & Handoko, 2011).

Listrik adalah sumber energi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat sehingga dalam penyaluran energi tersebut harus benar-benar handal, listrik merupakan salah satu kebutuhan yang paling penting untuk menunjang kehidupan manusia saat ini dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari, baik dalam rumah tangga maupun dalam bisnis. Secara umum dapat dikatakan bahwa energi listrik merupakan salah satu prasyarat kehidupan manusia, dan perkembangan kehidupan manusia memerlukan penyediaan energi listrik. Oleh sebab itu ketersediaan energi listrik yang cukup dan berkualitas merupakan tuntutan yang harus dipenuhi oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara). Sistem kelistrikan antar pusat-pusat

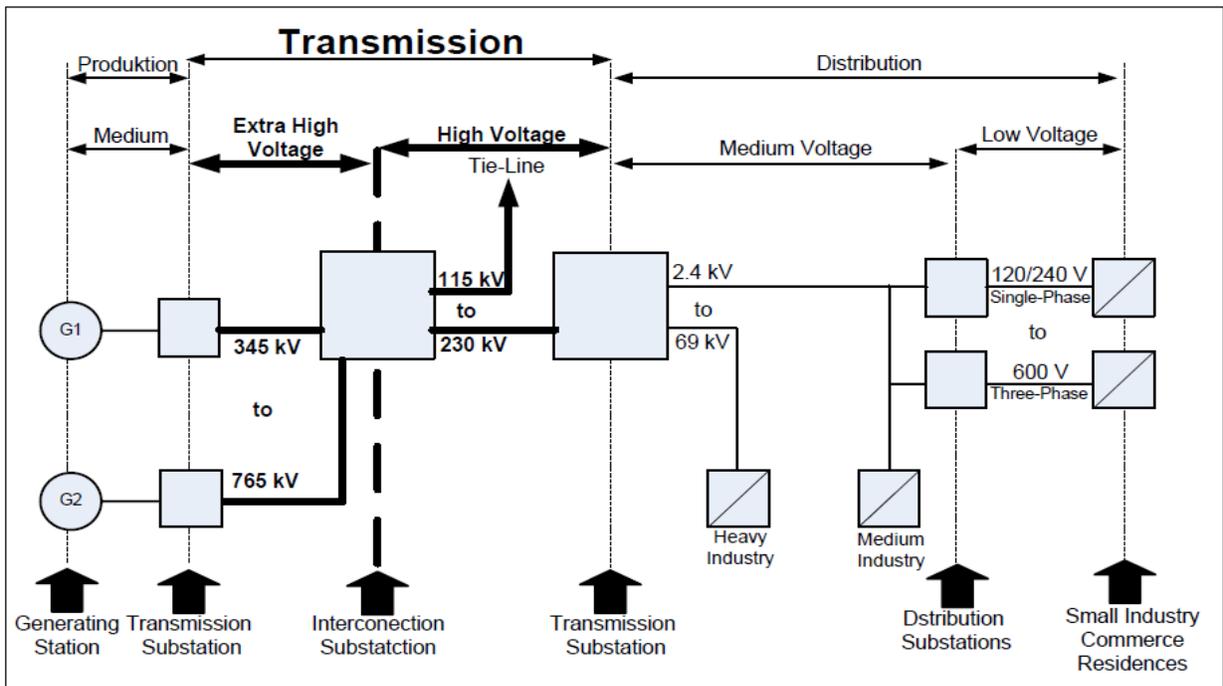
pembangkit dan pusat-pusat beban pada umumnya terpisah dalam ratusan bahkan ribuan kilometer. Hal ini terjadi karena beban (konsumen) terdistribusi di setiap tempat, sementara lokasi pembangkitan umumnya terletak di pusat-pusat sumber energi (PLTA) dan di lokasi yang memudahkan transportasi bahan bakar (PLTU), yang biasanya dibangun di tepi laut. Oleh karena itu tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat saluran transmisi (Jaelani, 2013).

Tenaga listrik dibangkitkan pada dalam pusat-pusat pembangkit listrik (power plant) seperti PLTA, PLTU, PLTG, dan PLTD lalu disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator step-up yang ada di pusat listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi mempunyai tegangan 70kV, 150kV, atau 500kV. Khusus untuk tegangan 500kV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. Setelah tenaga listrik disalurkan, maka sampailah tegangan listrik ke gardu induk (G1), lalu diturunkan tegangannya menggunakan transformator step-down menjadi tegangan menengah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20kV. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka tenaga listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 380/220 volt, lalu disalurkan melalui jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN (Jaelani, 2013).

Pelanggan-pelanggan dengan daya ter-sambung besar tidak dapat dihubungkan pada Jaringan Tegangan Rendah, melainkan dihu-

bungkan langsung pada jaringan tegangan menengah, bahkan ada pula pelanggan yang terhubung pada jaringan transmisi, tergantung dari besarnya daya tersambung. Setelah melalui jaringan Tegangan menengah, jaringan tegangan rendah dan sambungan Rumah (SR), maka tenaga listrik selanjutnya melalui alat pembatas daya dan kWh meter. Rekening listrik pelanggan tergantung pada besarnya daya tersambung serta pemakaian kWh nya. Setelah melalui kWh meter, tenaga listrik lalu memasuki instalasi rumah, yaitu instalasi milik pelanggan. Instalasi PLN umumnya hanya sampai pada kWh meter, sesudah kWh meter instalasi listrik umumnya adalah instalasi milik pelanggan. Dalam instalasi pelanggan, tenaga listrik langsung masuk ke alat-alat listrik milik pelanggan seperti lampu, kulkas, televisi, dan lain-lain (Jaelani, 2013).

Saluran-saluran transmisi membawa tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkitan ke pusat-pusat beban melalui saluran tegangan tinggi 150 kV atau melalui saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV. Trafo penurunan akan merendahkan tegangan ini menjadi tegangan subtransmisi 70 kV yang kemudian di gardu induk diturunkan lagi menjadi tegangan distribusi primer 20 kV. Pada gardu induk distribusi yang tersebar di pusat-pusat beban tegangan diubah oleh trafo distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 V. Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga *substation distribution* sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik melalui suatu bahan konduktor (Pramono, 2010).



Gambar 1. Diagram Blok Umum Sistem Tenaga Listrik.

Gambar 1 menunjukkan blok diagram dasar dari sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik yang terdiri dari dua stasiun pem-

bangkit (*generating station*) G1 dan G2, beberapa *substation* yaitu hubungan antar substation (*interconnecting substation*) dan untuk bagian komersial perumahan (*commercial residential*),

dan industrial loads. Transmisi berada pada bagian yang diberi arsir tebal. Fungsi dari bagian transmission substation menyediakan servis untuk merubah dalam menaikkan dan menurunkan tegangan pada saluran tegangan yang ditransmisikan serta meliputi regulasi tegangan. Standarisasi range tegangan internasional yaitu 345 kV hingga 765 kV untuk saluran tegangan ekstra tinggi dan 115 kV hingga 230 kV untuk saluran tegangan tinggi. Standarisasi tegangan transmisi listrik di Indonesia adalah 500 kV untuk saluran ekstra tinggi dan 150 kV untuk saluran tegangan tinggi (Pramono, 2010).

Pada sistem tenaga listrik, jarak antara pembangkit dengan beban yang cukup jauh, akan menimbulkan adanya penurunan kualitas tegangan yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada jaringan. Sehingga dibutuhkan suatu peralatan untuk memperbaiki kualitas tegangan dan diletakkan pada saluran yang mengalami drop tegangan. SVC (*Static Var Compensator*) berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi steady state dan dinamika voltase dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi berjarak jauh dan berbeban tinggi (*heavily loaded*). *Synchronous Condenser*, sebagai generator pen-suplay arus gangguan, dan transformer dengan taps yang variabel ini adalah jenis khusus transformator listrik yang dapat menambah atau mengurangi *powered* gulungan kawat, sehingga meningkatkan atau menurunkan medan magnet dan tegangan keluaran dari transformator (Pramono, 2010).

Distribution Substation, pada bagian ini merubah tegangan aliran listrik dari tegangan medium menjadi tegangan rendah dengan transformator *step-down*, dimana memiliki tap otomatis dan memiliki kemampuan untuk regulator tegangan rendah. Tegangan rendah meliputi rentangan dari 120/240V single phase sampai 600V, 3 phase. Bagian ini melayani pe-

rumahan, komersial dan institusi serta industri kecil. *Interconnecting substation*, pada bagian ini untuk melayani sambungan percabangan transmisi dengan power tegangan yang berbeda serta untuk menambah kestabilan pada keseluruhan jaringan. Setiap substation selalu memiliki *Circuit Breakers, Fuses, lightning arresters* untuk pengaman peralatan. Antara lain dengan penambahan kontrol peralatan, pengukuran, *switching*, pada setiap bagian substation (Pramono, 2010).

METODE

Secara umum saluran transmisi disebut dengan suatu sistem tenaga listrik yang membawa arus yang mencapai ratusan kiloamper. Energi listrik yang dibawa oleh konduktor melalui saluran transmisi dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik kepada pemakai tenaga listrik. Tegangan pada saluran transmisi ini disalurkan melalui kawat penghantar yang ditopang oleh tower atau tiang penyangga yang tinggi yang terbuat dari campuran baja yang disesuaikan dengan posisi atau daerah dengan jarak tertentu.

Data-data yang diperlukan diperoleh dari: 1) observasi, mengamati secara langsung di tempat operator dan mencatat data-data yang diperlukan untuk dianalisis; 2) wawancara, dilakukan dengan cara menanyakan hal-hal yang sekiranya belum diketahui; 3) studi pustaka, dilakukan dengan membaca buku-buku dan mencari data yang diperlukan mengenai hal-hal atau materi yang dianalisis.

Analisis data merupakan salah satu langkah penting dalam penelitian, terutama bila digunakan sebagai generalisasi atau simpulan tentang masalah yang diteliti. Dalam penelitian ini bersifat deskriptif maka analisis data yang digunakan adalah analisis *deskriptif percentase*.

Analisis data ini digunakan untuk deskripsi atau pembahasan hasil penelitian berupa data kuantitatif sehingga akan diperoleh gambaran kualitatif dari hasil penelitian.

Menghitung kerugian daya yang terjadi pada penghantar harus dicari dulu nilai resistannya. Rumus yang digunakan untuk mencari resistansi adalah menggunakan persamaan (1) sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho l}{A} \tag{1}$$

Nilai reaktansi dapat dicari setelah nilai resistansinya diketahui, untuk menghitung nilai reaktansi adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$X_L = 2\pi f \times 2.10^{-7} \times \ln \frac{GMD}{GMR} \tag{2}$$

Nilai GMD (Geometric Mean Distance atau jarak rata-rata geometris) dan nilai GMR (Geometric Mean Radius atau radius rata-rata geometris), dapat dicari dengan:

$$GMD = \sqrt[3]{Dab + Dbc + Dac} \tag{3}$$

untuk menghitung GMR adalah menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$GMR = 1,09 \sqrt[4]{Ds \times d^3} \tag{4}$$

Saluran transmisi Cilegon Baru - Cibinong adalah merupakan saluran transmisi jarak menengah yaitu kurang dari 250 km. Data-data hasil observasi digunakan untuk menghitung besar rugi daya pada kawat penghantar, daya pengiriman serta efisiensi transmisi. Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Mencari faktor daya :

$$\cos \varphi = Pr / S \tag{5}$$

Keterangan:

- cos φ = Faktor daya
- P = Daya Penerimaan (Watt)
- S = Daya Reaktif (VAR)

Mencari rugi daya pada kawat penghantar menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{resistan} = 3.I^2.R \tag{6}$$

Mencari rugi korona menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = A/\delta(f + 25)r^2(E_g - m\delta E'_{g0})10^{-2} \tag{7}$$

dengan

F = Frekuensi (Hz)

A = 0,375 untuk Kawat Lilit

m = m0 . m1

δ = Kepadatan Udara Relatif

r = Jari-jari Penghantar

E_g = Gradien Tegangan

E_{g0} = 21,1 KV/cm

Rugi daya total

$$P_{rugi} = P_{resistan} + P_{korona} \tag{8}$$

Mencari daya pengiriman dengan persamaan berikut :

$$Ps = Pr + Prugi \tag{9}$$

Mencari efisiensi transmisi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{Pr}{Ps} \times 100\% \tag{10}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Saluran transmisi terdiri dari seperangkat konduktor yang membawa energi listrik dan mentransmisikan dari pusat pembangkit ke gardu induk. Konduktor dari saluran transmisi tersebut digantungkan pada isolator yang dikaitkan ke lengan menara.

Tabel 1. Data dari Saluran Transmisi Yang Melalui Daerah Cilegon Baru-Cibinong pada 15 Desember 2015

R (Resistan per fasa) (Ohm/KM)	0,0251
XL (Reaktansi per fasa) (Ohm/KM)	0,2808
Z (Impedansi Saluran) (Ohm)	368,779
l (Jarak Saluran) (KM)	130,81
Luas Penampang (mm ²)	392,84
Pr (Daya Penerimaan) (MW)	825
Q (Daya Reaktif) (VAR)	90
I (Arus Line) (Ampere)	1050
Vr (Tegangan Penerimaan) (Volt)	480
D (Diameter Konduktor) (Cm)	2,58
R (Jari-jari Konduktor) (Cm)	1,29
F (Frekuensi) (Hz)	50
E _g (Gradien Tegangan) (KV/Cm)	72,5834

$$\begin{aligned} R \text{ total} &= R \times l \\ &= 0,0251 \times 130,81 \\ &= 3,28331 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X \text{ total} &= XL \times l \\ &= 0,2808 \times 130,81 \\ &= 36,73 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= P / S \\ &= 825 / 828,402 \\ &= 0,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ resistan} &= 3 \cdot I^2 \cdot R \\ &= 3 \times 1050^2 \times 3,28331 \\ &= 10.859.547,83 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ korona} &= A / \delta (f + 25)r^2 (E_g - m\delta E'g_0)10^{-2} \\ &= 0,375(50 + 25)1,2^2(72,5834 - 0,83 \times 0,9869 \\ &\times 21,1)10^{-2} \\ &= 18,58236338 \text{ kW/km} \end{aligned}$$

Rugi korona total

$$\begin{aligned} P \text{ total} &= P \times l \\ &= 18.582,36338 \times 130,81 \\ &= 2.430.758,95 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ rugi} &= P \text{ resistan} + P \text{ korona} \\ &= 10.859.547,83 + 2.430.758,95 \\ &= 13.290.306,78 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Daya pengiriman dapat dicari dengan rumus seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} P_s &= P_r + P_{rugi} \\ &= 825.000.000 + 13.290.306,78 \\ &= 838.290.306,78 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Efisiensi transmisi dapat dicari seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} \eta &= P_r / P_s \times 100\% \\ &= 825.000.000 / 838.290.306,78 \times 100\% \\ &= 98,41 \% \end{aligned}$$

Efisiensi transmisi pada tanggal 15 Desember 2015 mendekati 100 % yaitu 98,41 % dan 98,32%, artinya kerugian daya yang terjadi yaitu sebesar 13.290.306,78 Watt masih dalam batas normal dan semua ini dipengaruhi oleh besarnya arus dan resistan kawat penghantar yang tidak begitu besar.

Kerugian korona dalam persen dari rugi daya = P korona total/Rugi daya total x 100% = 2.430.758,95/13.290.306,78 x 100 = 18,28 %.

Kerugian korona yang terjadi pada Rabu, 15 Desember 2015 adalah 2.430.758,95 Watt sedangkan kerugian daya yang terjadi adalah sebesar 13.290.306,78 Watt sehingga kerugian daya yang diakibatkan oleh faktor korona adalah 18,28 %. Sedangkan sisanya adalah kerugian yang diakibatkan oleh faktor lain misalnya rugi yang diakibatkan oleh penghantar, faktor alam, kekotoran isolator, dan lain sebagainya.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis maka dapat diambil kesimpulan bahwa kerugian daya pada penghantarnya untuk saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV Cilegon Baru – Cibinong masih sangat kecil sehingga tidak perlu

adanya penggantian atau perbaikan alat dan bahan pada saluran tersebut. Kerugian daya terbesar adalah terjadi pada hari Rabu, 15 Desember 2015 sebesar 13.290.306,78 Watt. Hal ini banyak dipengaruhi oleh arus, panjang saluran dan resistan penghantarnya.

Kerugian daya yang diakibatkan oleh korona sebesar 2.430.758,95 Watt. Nilai efisiensi transmisi pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV Cilegon Baru – Cibinong masih sangat baik karena rata – rata mendekati 100 %.

DAFTAR PUSTAKA

Jaelani, Z. (2013). *Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi 500kV dengan Menggunakan Digsilent*. Tesis. Universi-

tas Pendidikan Indonesia. Diambil dari <http://repository.upi.edu/5526/>
Pramono, Joko. (2010). *Makalah Teknik Tenaga Listrik, Transmission of Electrical Energy (Transmisi Tenaga Listrik)*. Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok. Diambil dari <http://staff.ui.ac.id/system/files/users/chairul.hudaya/material/papertransmissionofelectricalenergy.pdf>
Susilo, U., Sukmadi, T., & Handoko, S. (2011). *Analisis Pengaruh Konfigurasi Konduktor Berkas terhadap Efisiensi, Regulasi Tegangan dan Korona pada Saluran Transmisi Udara*. Tesis. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik. Diambil dari <http://eprints.undip.ac.id/25463/>

