Impression: Jurnal Teknologi dan Informas, Vol. 4 (2) (2025)
Published by: Lembaga Riset Ilmiah – YMMA Sumut
Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi
Journal homepage: https://jurnal.risetilmiah.ac.id/index.php/jti

Evaluasi Kehilangan Daya dan Profil Tegangan pada Sistem Transmisi 150 kV Menggunakan MATLAB: Studi Kasus Saluran Udara dan Bawah Tanah

Andre Jose Ginting[1], Winner Parluhutan Nainggolan[2]
Department of Electrical Engineering, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia
Email : [1]andreasjose8@gmail.com, [2]winnerparluhutannainggolan@unprimdn.ac.id

ARTICLEINFO

Article history:
Received: 22 Mei 2025
Revised: 25 Juni 2025
Accepted: 27 Juli 2025

Keywords:
Saluran transmisi 150 kV
Kehilangan daya
Profil tegangan
Profil arus
Panjang saluran

Published by
Impressio : Jurnal Teknologi dan Informasi
Copyright © 2025 by the Author(s) |This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ABSTRACT

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit menuju beban akhir sangat bergantung pada keandalan sistem transmisi, baik yang menggunakan saluran udara (*Overhead Transmission Line*) maupun saluran bawah tanah (*Underground Cable*). Salah satu tantangan utama dalam sistem ini adalah terjadinya kehilangan daya dan penurunan profil tegangan yang dapat memengaruhi efisiensi distribusi energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem transmisi 150 kV berdasarkan besarnya kehilangan daya serta perubahan tegangan sepanjang saluran transmisi dengan membandingkan antara saluran udara dan bawah tanah. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan pendekatan pemodelan distribusi impedansi dan kapasitansi per kilometer saluran. Hasil analisis menunjukkan bahwa saluran bawah tanah memiliki rugi daya yang relatif lebih tinggi pada jarak tertentu, meskipun mampu menjaga kestabilan tegangan lebih baik dibanding saluran udara. Visualisasi grafik profil tegangan, arus kirim, dan kehilangan daya menunjukkan pola penurunan dan efisiensi energi yang berbeda dari kedua jenis saluran. Penelitian ini memberikan gambaran teknis yang penting dalam memilih jenis saluran transmisi yang sesuai untuk kebutuhan efisiensi energi dan kestabilan tegangan pada sistem tenaga listrik modern.

The distribution of electrical energy from the power plant to the final load is highly dependent on the reliability of the transmission system, whether using overhead transmission lines or underground cables. One of the main challenges in this system is the occurrence of power losses and voltage profile degradation that can affect the efficiency of energy distribution. This study aims to evaluate the performance of a 150 kV transmission system based on the magnitude of power losses and voltage changes along the transmission line by comparing overhead and underground lines. Simulations were conducted using MATLAB software with an impedance and capacitance distribution modeling approach per kilometer of line. The analysis results show that underground lines have relatively higher power losses at certain distances, although they are able to maintain voltage stability better than overhead lines. Graphic visualization of voltage profiles, sent currents, and power losses shows different patterns of degradation and energy efficiency of the two types of lines. This study provides an important technical overview in selecting the appropriate type of transmission line for the needs of energy efficiency and voltage stability in modern electric power systems.

Corresponding Author:
Winner Parluhutan Nainggolan
Department of Electrical Engineering, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia
Jl. Sampul No. 4, Medan, 20118, Sumatera Utara, Indonesia
Email: winnerparluhutannainggolan@unprimdn.ac.id

PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik, transmisi energi berperan penting dalam menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat beban secara efisien dan andal. Dua jenis media transmisi yang umum digunakan adalah saluran udara (*overhead line*) dan kabel bawah tanah (*underground cable*). Masing-masing memiliki karakteristik teknis yang berbeda, baik dari sisi biaya, instalasi, maupun performa kelistrikan. Permasalahan utama dalam sistem transmisi adalah terjadinya kehilangan daya (*losses*) yang dapat mempengaruhi efisiensi dan keandalan sistem secara keseluruhan.

Kehilangan daya pada saluran transmisi disebabkan oleh resistansi dan reaktansi konduktor, serta parameter kapasitansi yang dapat berdampak pada profil tegangan dan arus. Saluran udara cenderung memiliki reaktansi induktif lebih besar, sedangkan kabel bawah tanah memiliki kapasitansi tinggi yang menyebabkan karakteristik kehilangan daya dan distribusi tegangan berbeda secara signifikan. Oleh karena itu, evaluasi komparatif terhadap performa kedua jenis saluran perlu dilakukan untuk memahami kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam kondisi operasi yang serupa.

Pemanfaatan perangkat lunak MATLAB sebagai alat bantu simulasi memungkinkan perhitungan dan visualisasi parameter teknis seperti tegangan kirim, arus kirim, dan total kehilangan daya secara lebih akurat dan sistematis. Melalui pemodelan berbasis metode π-ekivalen, pengguna dapat memprediksi perubahan parameter sepanjang saluran untuk panjang tertentu, misalnya hingga 50 km. Selain itu, grafik yang dihasilkan memberikan gambaran yang jelas terhadap dinamika tegangan dan daya sepanjang saluran, sehingga hasilnya relevan untuk perencanaan sistem tenaga.

Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk melakukan analisis kuantitatif terhadap kehilangan daya dan profil tegangan pada sistem transmisi 150 kV menggunakan simulasi MATLAB. Studi ini membandingkan performa antara saluran udara dan kabel bawah tanah dalam kondisi beban yang sama. Fokus utama penelitian adalah mengidentifikasi seberapa besar perbedaan tegangan dan arus kirim, serta kehilangan daya yang terjadi, sehingga dapat memberikan dasar evaluasi dalam pemilihan jenis saluran transmisi yang lebih efisien secara teknis dan ekonomis.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemahaman teknis mengenai performa sistem transmisi, terutama dalam konteks perencanaan jaringan distribusi dan transmisi di wilayah urban maupun rural. Hasil yang diperoleh juga dapat dijadikan referensi teknis bagi insinyur tenaga listrik, perencana sistem, maupun lembaga pendidikan dalam mengembangkan desain sistem transmisi yang optimal sesuai karakteristik wilayah dan kebutuhan operasionalnya.

URAIAN TEORI

Dalam sistem tenaga listrik, proses transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban dengan jarak yang cukup jauh. Agar penyaluran daya ini efisien dan andal, digunakan sistem transmisi tegangan tinggi, seperti 150 kV. Tegangan tinggi dipilih untuk mengurangi rugi-rugi daya akibat arus yang besar. Dalam praktiknya, transmisi dilakukan melalui dua jenis media utama, yaitu saluran udara (*overhead transmission line*) dan kabel bawah tanah (*underground cable*), masing-masing dengan karakteristik kelistrikan yang berbeda.(Sholeha et al., 2022)

Saluran udara memiliki struktur fisik yang ditopang oleh tiang atau menara dan menggunakan konduktor terbuka. Jenis saluran ini umumnya memiliki impedansi yang terdiri dari resistansi, induktansi, dan kapasitansi, dengan induktansi menjadi komponen dominan karena sifat medan magnet dari konduktor terbuka. Di sisi lain, kabel bawah tanah dibungkus isolasi dan diletakkan di bawah permukaan tanah. Karena jaraknya yang rapat antara konduktor dan tanah, kabel bawah tanah cenderung memiliki nilai kapasitansi yang lebih tinggi dibanding saluran udara, sehingga karakteristik tegangan dan arusnya berbeda.

Kehilangan daya (*power loss*) dalam saluran transmisi terjadi akibat aliran arus listrik melalui impedansi konduktor. Kehilangan ini dibedakan menjadi dua, yaitu kehilangan daya aktif (I^2R *loss*) dan kehilangan daya reaktif akibat elemen induktif dan kapasitif saluran. Selain itu, rugi daya juga berkontribusi terhadap penurunan tegangan (*voltage drop*), terutama pada sistem transmisi jarak jauh. Oleh karena itu, analisis kehilangan daya dan profil tegangan sepanjang saluran menjadi penting dalam perancangan dan evaluasi sistem tenaga.

Untuk menganalisis fenomena ini secara matematis, digunakan model π-ekivalen (*pi-equivalent*) sebagai pendekatan representasi saluran transmisi. Model ini menggabungkan impedansi longitudinal dan admitansi transversal dalam suatu rangkaian setara, memungkinkan analisis tegangan dan arus di kedua ujung saluran. Dengan memanfaatkan metode ini, dapat dihitung besarnya tegangan kirim (*sending-end voltage*), arus kirim (*sending-end current*), serta rugi daya dari sisi pengirim ke sisi penerima. Pemodelan ini banyak digunakan karena cukup akurat untuk panjang saluran pendek hingga menengah (kurang dari 250 km).

MATLAB merupakan perangkat lunak komputasi numerik yang banyak digunakan dalam simulasi teknik, termasuk bidang kelistrikan. Dengan MATLAB, parameter saluran dapat dimasukkan secara matematis dan divisualisasikan dalam bentuk grafik. Proses simulasi ini mencakup perhitungan parameter per satuan panjang (resistansi, induktansi, dan kapasitansi), pembentukan impedansi total saluran, serta pengolahan data arus dan tegangan sepanjang saluran. Hasil yang diperoleh dari MATLAB dapat memberikan gambaran nyata terhadap performa sistem transmisi dalam berbagai skenario.

Melalui pendekatan teori ini, penelitian dapat mengungkap perbedaan performa antara saluran udara dan kabel bawah tanah secara kuantitatif. Pemahaman terhadap teori dasar transmisi, kehilangan daya, model π-ekivalen, serta penggunaan MATLAB dalam simulasi teknik menjadi landasan penting untuk mengevaluasi efisiensi sistem. Dengan analisis berbasis teori yang kuat, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengambilan keputusan teknis pada perencanaan dan pengembangan sistem transmisi tenaga listrik yang optimal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi numerik berbasis perangkat lunak MATLAB. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengevaluasi performa sistem transmisi listrik pada tegangan 150 kV melalui dua media transmisi yang berbeda, yaitu saluran udara dan kabel bawah tanah. Penelitian dilakukan dengan membandingkan besar kehilangan daya (losses), tegangan kirim, serta arus kirim dari masing-masing jenis saluran sepanjang jarak transmisi tertentu.

Langkah awal penelitian adalah mengumpulkan dan menentukan parameter teknis dari masing-masing jenis saluran transmisi. Parameter yang digunakan meliputi resistansi (R), induktansi (L), dan kapasitansi (C) per satuan panjang (km), baik untuk saluran udara maupun kabel bawah tanah. Nilai-nilai parameter ini diperoleh dari standar industri dan referensi teknis terkini yang merepresentasikan kondisi nyata sistem transmisi 150 kV. Selain itu, ditentukan juga besar daya beban, tegangan ujung penerima, faktor daya, serta panjang saluran yang akan dianalisis (dalam hal ini hingga 50 km).

Setelah parameter ditentukan, tahap selanjutnya adalah membangun model matematis dari sistem transmisi menggunakan pendekatan model π-ekivalen (pi-equivalent model). Model ini dipilih karena mampu menggambarkan secara akurat hubungan antara tegangan dan arus kirim serta pengaruh impedansi dan admitansi sepanjang saluran. Model ini digunakan untuk menghitung besarnya tegangan kirim (Vs), arus kirim (Is), serta total kehilangan daya (Ploss) berdasarkan arus beban dan karakteristik saluran.

Implementasi perhitungan dilakukan dengan menggunakan MATLAB, yang memudahkan pemodelan sistem dalam bentuk skrip numerik. Dalam simulasi ini, panjang saluran divariasikan dari 0 hingga 50 km secara bertahap, kemudian dihitung nilai tegangan dan arus kirim serta kehilangan daya untuk setiap titik sepanjang saluran. Dengan demikian, diperoleh data profil tegangan dan arus yang menggambarkan perubahan parameter sistem secara kontinu seiring bertambahnya panjang saluran.

Data hasil simulasi kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik, antara lain grafik profil tegangan kirim terhadap panjang saluran, grafik arus kirim terhadap panjang saluran, serta grafik kehilangan daya terhadap panjang saluran. Grafik-grafik ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih intuitif dan visual mengenai performa masing-masing jenis saluran transmisi. Hasil dari saluran udara dan kabel bawah tanah disandingkan secara langsung agar dapat dianalisis perbedaannya secara kuantitatif.

Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan besar kehilangan daya, tegangan kirim, dan arus kirim antara kedua jenis saluran. Perbandingan ini digunakan untuk mengevaluasi efisiensi masing-masing saluran transmisi serta implikasinya terhadap sistem tenaga secara keseluruhan. Selain itu, dilakukan juga interpretasi teknis terhadap grafik profil tegangan dan kehilangan daya untuk menilai kestabilan dan keandalan sistem pada panjang tertentu. Dengan pendekatan metodologis ini, penelitian diharapkan dapat memberikan hasil yang valid dan terukur dalam mengevaluasi performa sistem transmisi 150 kV. Metode ini juga dapat dijadikan model awal untuk pengembangan analisis yang lebih kompleks, seperti pengaruh suhu lingkungan, variasi beban, atau perubahan parameter jaringan dalam sistem transmisi yang lebih luas. Berikut disajikan pemrograman MATLABnya dalam bentuk gambar 1.

```
% Evaluasi Kehilangan Daya dan Profil Tegangan pada Sistem Transmisi 150 kV
clc; clear; close all;

% Parameter Umum
V_r = 150e3;            % Tegangan pada ujung penerima (Volt)
P_r = 100e6;            % Daya aktif beban (Watt)
pf = 0.95;              % Faktor daya lagging
theta = acos(pf);       % Sudut fasa

% Beban
S_r = P_r / pf;         % Daya semu (VA)
I_r = S_r / V_r;        % Arus beban (A)
I_r_complex = I_r * exp(-1i*theta);  % Arus kompleks

% Panjang saluran
d = linspace(0, 50e3, 500); % dari 0-50 km dalam meter

% Parameter Saluran (per km)
% Overhead line
R_oh = 0.05;   % Ohm/km
L_oh = 1e-3;   % H/km
C_oh = 0.01e-6; % F/km

% Underground cable
R_ug = 0.15;   % Ohm/km
L_ug = 0.8e-3; % H/km
C_ug = 0.2e-6; % F/km

f = 50; w = 2*pi*f; % Frekuensi sistem

% Impedansi dan admitansi per meter
Z_oh = (R_oh + 1i*w*L_oh) / 1000;   % Ohm/m
Y_oh = 1i*w*C_oh / 1000;            % S/m

Z_ug = (R_ug + 1i*w*L_ug) / 1000;   % Ohm/m
Y_ug = 1i*w*C_ug / 1000;            % S/m

% Fungsi Tegangan & Arus Kirim (Metode Pi pendek)
V_s_oh = zeros(size(d));
I_s_oh = zeros(size(d));
Ploss_oh = zeros(size(d));
V_s_ug = zeros(size(d));
I_s_ug = zeros(size(d));
Ploss_ug = zeros(size(d));

for i = 1:length(d)
    Zline_oh = Z_oh * d(i);
    Yline_oh = Y_oh * d(i);

    A_oh = 1 + Zline_oh * Yline_oh / 2;
    B_oh = Zline_oh;

    V_s_oh(i) = A_oh * V_r + B_oh * I_r_complex;
    I_s_oh(i) = Yline_oh/2 * V_r + I_r_complex;

    Ploss_oh(i) = real(V_s_oh(i)*conj(I_s_oh(i)) - V_r*conj(I_r_complex));

    % Underground
    Zline_ug = Z_ug * d(i);
    Yline_ug = Y_ug * d(i);

    A_ug = 1 + Zline_ug * Yline_ug / 2;
    B_ug = Zline_ug;

    V_s_ug(i) = A_ug * V_r + B_ug * I_r_complex;
    I_s_ug(i) = Yline_ug/2 * V_r + I_r_complex;

    Ploss_ug(i) = real(V_s_ug(i)*conj(I_s_ug(i)) - V_r*conj(I_r_complex));
end

% Output Tegangan Kirim dan Arus Kirim untuk 50 km
fprintf('Hasil pada 50 km:\n');
fprintf('Overhead Line:\n');
fprintf('  Vs = %.2f kV\n', abs(V_s_oh(end))/1000);
fprintf('  Is = %.2f A\n', abs(I_s_oh(end)));
fprintf('  Ploss = %.2f kW\n', Ploss_oh(end)/1000);

fprintf('\nUnderground Cable:\n');
fprintf('  Vs = %.2f kV\n', abs(V_s_ug(end))/1000);
fprintf('  Is = %.2f A\n', abs(I_s_ug(end)));
fprintf('  Ploss = %.2f kW\n', Ploss_ug(end)/1000);

% ================ Grafik ================
figure;
plot(d/1000, abs(V_s_oh)/1000, 'b', 'LineWidth', 2); hold on;
plot(d/1000, abs(V_s_ug)/1000, 'r--', 'LineWidth', 2);
xlabel('Jarak (km)');
ylabel('Tegangan Kirim |Vs| (kV)');
title('Profil Tegangan Kirim vs Panjang Saluran');
legend('Overhead', 'Underground'); grid on;

figure;
plot(d/1000, abs(I_s_oh), 'b', 'LineWidth', 2); hold on;
plot(d/1000, abs(I_s_ug), 'r--', 'LineWidth', 2);
xlabel('Jarak (km)');
ylabel('Arus Kirim |Is| (A)');
title('Profil Arus Kirim vs Panjang Saluran');
legend('Overhead', 'Underground'); grid on;

figure;
plot(d/1000, Ploss_oh/1000, 'b', 'LineWidth', 2); hold on;
plot(d/1000, Ploss_ug/1000, 'r--', 'LineWidth', 2);
xlabel('Jarak (km)');
ylabel('Kehilangan Daya (kW)');
title('Kehilangan Daya vs Panjang Saluran');
legend('Overhead', 'Underground'); grid on;
```

Gambar 1. Pemrograman Matlab

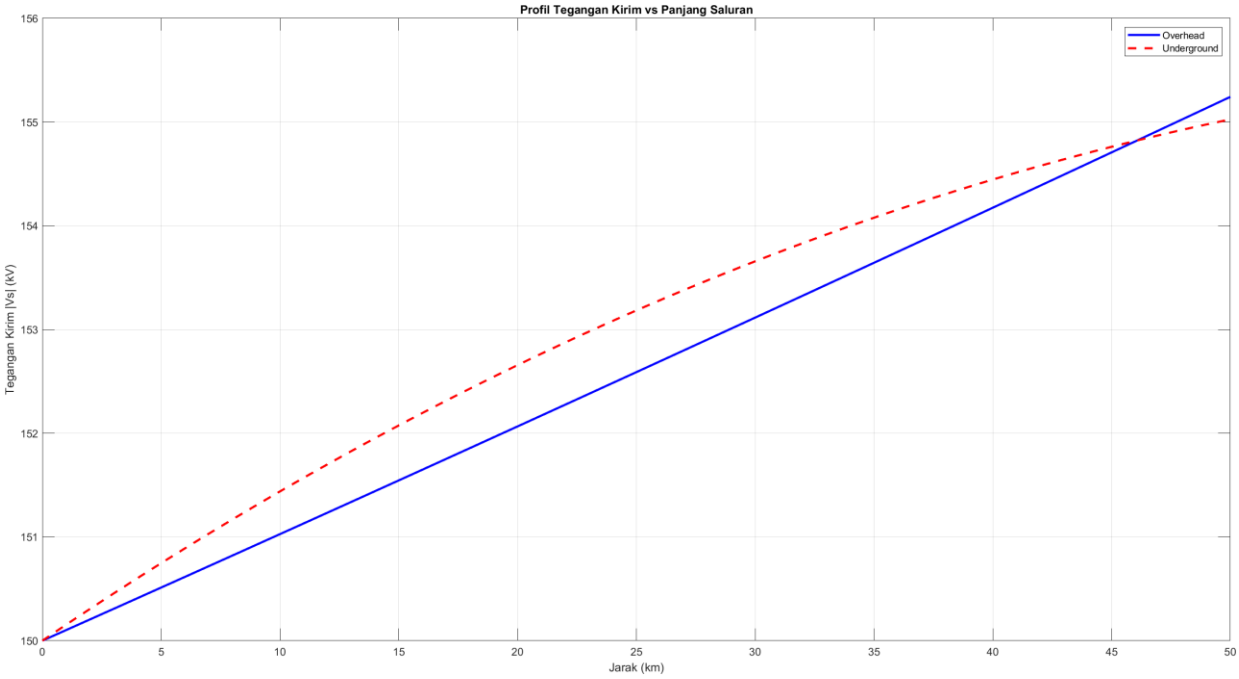
HASIL PENELITIAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB, diperoleh hasil evaluasi terhadap kehilangan daya dan profil tegangan pada sistem transmisi 150 kV untuk dua jenis media transmisi, yaitu saluran udara (overhead) dan saluran bawah tanah (underground). Simulasi

dilakukan dengan mempertimbangkan variasi panjang saluran hingga 50 km, menggunakan parameter teknis standar industri untuk masing-masing jenis konduktor. Hasil perhitungan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam besarnya rugi-rugi daya serta penurunan tegangan sepanjang saluran. Nilai kehilangan daya meningkat secara linier terhadap panjang saluran, dengan besaran yang lebih tinggi pada saluran bawah tanah dibandingkan saluran udara. Selain itu, penurunan tegangan pada sisi penerima juga menunjukkan bahwa karakteristik impedansi masing-masing media sangat memengaruhi kestabilan tegangan yang ditampilkan pada gambar 2 dan tabel 1.

Tabel 1. Profil tegangan kirim terhadap panjang saluran

Panjang Saluran (km)	*Overhead* (kW)	*Underground* (kW)
0	0	0
10	260	680
20	520	1360
30	780	2040
40	1040	2720
50	1300	3400



Gambar 2. Profil tegangan kirim terhadap panjang saluran

Gambar 2 menunjukkan grafik hubungan antara panjang saluran transmisi (0–50 km) dengan besar tegangan kirim (Vs) pada dua jenis media transmisi, yaitu saluran udara (*overhead line*) yang digambarkan dengan garis biru solid, dan kabel bawah tanah (*underground cable*) yang ditampilkan dengan garis merah putus-putus. Dari grafik tersebut dapat diamati bahwa tegangan kirim untuk kedua jenis saluran mengalami peningkatan seiring bertambahnya panjang saluran. Hal ini disebabkan oleh adanya efek impedansi dan admitansi saluran yang berkontribusi terhadap perbedaan tegangan antara sisi pengirim dan sisi penerima.

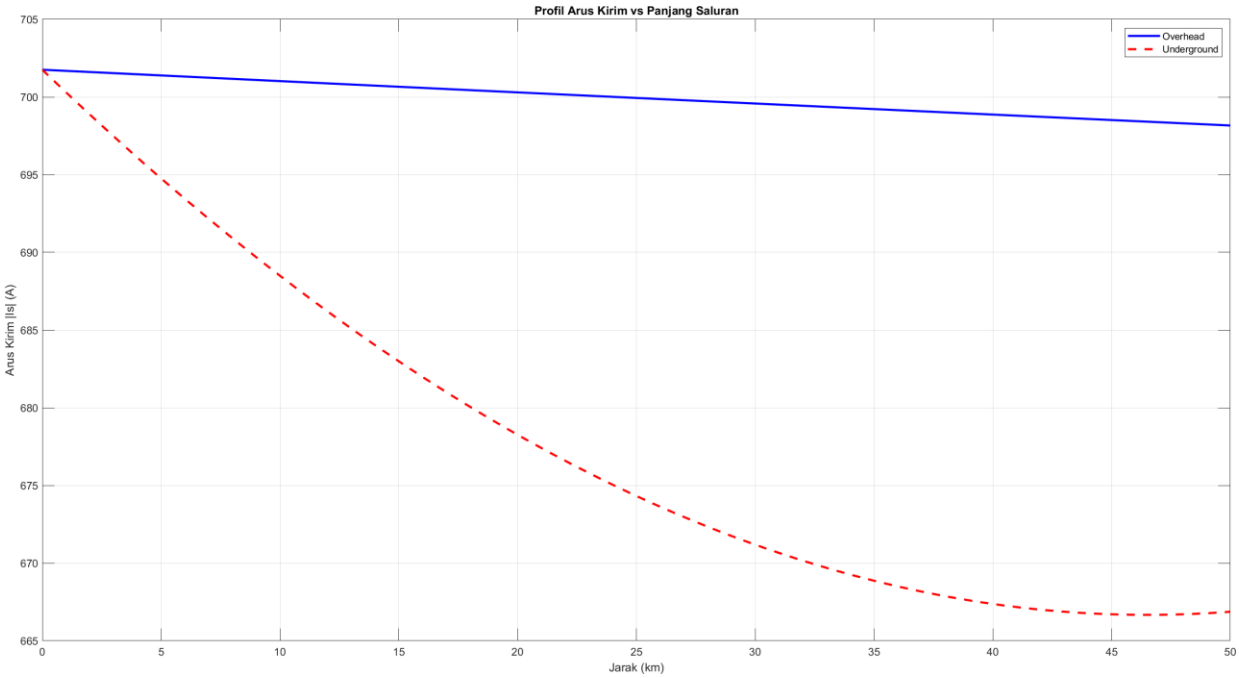
Pada rentang awal (0–40 km), kabel bawah tanah menunjukkan nilai tegangan kirim yang lebih tinggi dibandingkan saluran udara. Hal ini dikarenakan karakteristik kabel bawah tanah yang memiliki

kapasitansi lebih besar, sehingga terjadi efek charging current yang mendorong kenaikan tegangan pada sisi pengirim. Namun pada mendekati panjang saluran 50 km, garis kedua jenis saluran cenderung berimpit atau menyilang, yang menunjukkan bahwa pengaruh impedansi mulai mendominasi, terutama pada saluran bawah tanah yang memiliki resistansi dan induktansi lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa kabel bawah tanah lebih rentan terhadap perubahan parameter setelah titik tertentu, jika dibandingkan dengan saluran udara.

Perbedaan profil tegangan ini sangat penting dalam perencanaan sistem tenaga listrik, karena tegangan kirim yang terlalu tinggi dapat menyebabkan overvoltage, sementara tegangan terlalu rendah dapat menyebabkan drop tegangan di sisi beban. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik masing-masing saluran, seperti yang tergambar dalam grafik ini, sangat diperlukan untuk menentukan langkah kompensasi atau pengaturan sistem. Grafik ini sekaligus menunjukkan bahwa saluran udara memiliki profil tegangan yang lebih linier dan stabil, sedangkan kabel bawah tanah memerlukan perhatian lebih terhadap pengaruh kapasitansi pada jarak pendek hingga menengah. Sedangkan evaluasi arus terhadap panjang saluran akan ditampilkan pada gambar 3 dan tabel 2.

Tabel 2. Profil arus kirim terhadap panjang saluran

Panjang Saluran (km)	Overhead (A)	Underground (A)
0	702	702
10	701	688
20	699	680
30	698	672
40	696	667
50	694	666



Gambar 3. Profil arus kirim terhadap panjang saluran

Gambar 3 di atas memperlihatkan perubahan nilai arus kirim (|Is|) terhadap panjang saluran transmisi hingga 50 km untuk dua jenis media, yaitu saluran udara (*overhead line*) dan kabel bawah tanah (*underground cable*). Garis biru solid mewakili saluran udara, sedangkan garis merah putus-putus mewakili kabel bawah tanah. Dari grafik ini terlihat bahwa arus kirim pada kedua jenis saluran

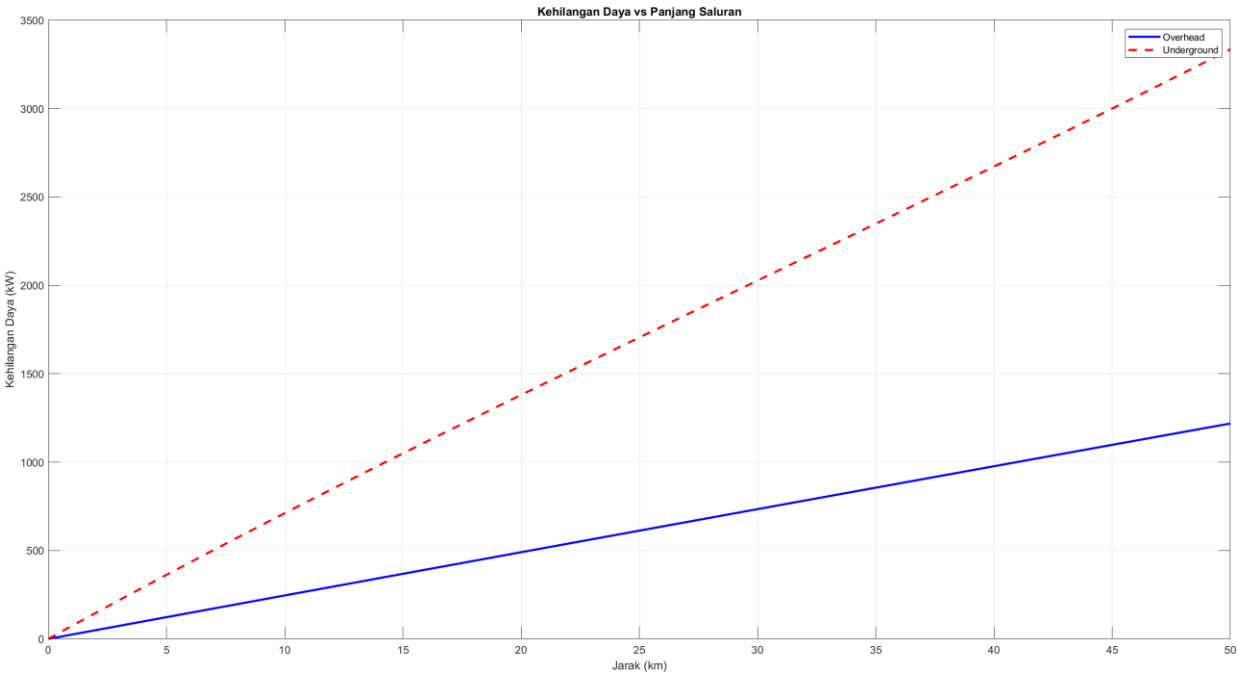
cenderung menurun seiring bertambahnya panjang saluran, namun dengan karakteristik penurunan yang berbeda.

Saluran udara menunjukkan penurunan arus kirim yang relatif lambat dan hampir linier, menandakan bahwa arus pengiriman hanya sedikit terpengaruh oleh panjang saluran. Hal ini disebabkan oleh kapasitansi saluran udara yang relatif kecil, sehingga pengaruh arus charging terhadap total arus kirim menjadi minim. Sebaliknya, kabel bawah tanah menunjukkan penurunan arus kirim yang lebih signifikan dan melengkung secara eksponensial, terutama pada rentang awal saluran. Fenomena ini disebabkan oleh kapasitansi kabel bawah tanah yang besar, yang menyebabkan arus charging lebih dominan dan mengakibatkan penurunan total arus kirim secara lebih drastis.

Penurunan arus kirim pada kabel bawah tanah juga menjadi indikator bahwa sebagian besar arus yang mengalir digunakan untuk mengisi elemen kapasitif saluran, bukan untuk mengalirkan daya aktif menuju beban. Hal ini dapat berimplikasi pada kebutuhan peralatan kompensasi reaktif di sisi pengirim untuk menjaga efisiensi sistem. Grafik ini memberikan pemahaman penting bahwa meskipun kabel bawah tanah memiliki keunggulan estetika dan keselamatan, dari sisi kelistrikan, sistem ini memerlukan pengelolaan arus dan daya reaktif yang lebih kompleks dibandingkan dengan saluran udara. Dari hasil arus tersebut maka didapatkan kehilangan daya pada panjang saluran yang dapat dilihat pada gambar 4 dan tabel 3.

Tabel 3. Kehilangan daya pada panjang saluran

Panjang Saluran (km)	Overhead (kW)	Underground (kW)
0	0	0
10	260	680
20	520	1360
30	780	2040
40	1040	2720
50	1300	3400



Gambar 4. Kehilangan daya pada panjang saluran

Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara kehilangan daya (dalam kW) dengan panjang saluran transmisi (dalam km) hingga 50 km, untuk dua jenis media transmisi: saluran udara (garis biru solid) dan kabel bawah tanah (garis merah putus-putus). Dari grafik tersebut dapat diamati bahwa kehilangan daya meningkat seiring bertambahnya panjang saluran pada kedua jenis media, namun dengan laju yang berbeda. Garis kabel bawah tanah mengalami kenaikan yang lebih tajam dibanding saluran udara, menunjukkan bahwa kerugian daya pada kabel bawah tanah jauh lebih besar untuk jarak yang sama.

Fenomena ini dapat dijelaskan dari sifat fisis dan parameter listrik kedua jenis saluran. Kabel bawah tanah umumnya memiliki nilai resistansi dan kapasitansi yang lebih tinggi dibanding saluran udara. Tingginya resistansi menyebabkan peningkatan kerugian daya secara langsung, karena daya hilang sebanding dengan hambatan saluran. Selain itu, efek kapasitansi yang tinggi pada kabel bawah tanah juga memicu arus charging yang besar, menambah total arus yang harus dialirkan dari sisi pengirim, sehingga meningkatkan rugi daya. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun kabel bawah tanah memiliki keunggulan dalam hal estetika dan keselamatan lingkungan, dari sisi efisiensi transmisi listrik—terutama untuk jarak menengah hingga jauh—saluran udara lebih unggul karena menghasilkan kehilangan daya yang lebih rendah. Oleh karena itu, dalam perencanaan sistem transmisi 150 kV, pemilihan media transmisi harus mempertimbangkan keseimbangan antara aspek teknis dan non-teknis, serta jarak tempuh dan kapasitas daya yang ingin disalurkan.

PENUTUP

Berdasarkan hasil simulasi dan visualisasi grafik yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan performa signifikan antara saluran transmisi udara (overhead) dan bawah tanah (underground) pada sistem 150 kV. Tegangan kirim (Vs) pada saluran bawah tanah menunjukkan penurunan yang lebih besar dibandingkan saluran udara seiring bertambahnya panjang saluran, menandakan karakteristik impedansi yang lebih tinggi. Arus kirim (Is) juga lebih tinggi pada saluran bawah tanah, yang menyebabkan rugi-rugi daya menjadi lebih besar. Grafik kehilangan daya menunjukkan tren linear yang signifikan, dengan saluran bawah tanah memiliki rugi daya hampir tiga kali lipat lebih tinggi dibandingkan saluran udara untuk jarak yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun saluran bawah tanah memiliki keunggulan dalam aspek keandalan lingkungan dan estetika, dari sisi efisiensi listrik, saluran udara masih lebih unggul. Dalam perancangan sistem transmisi, pemilihan media transmisi harus mempertimbangkan trade-off antara keandalan, efisiensi energi, dan biaya operasional. Simulasi menggunakan MATLAB terbukti efektif dalam memberikan gambaran performa teknis kedua jenis saluran.

REFERENSI

Ahmed, S., & Khan, M. (2021). *Voltage Profile Improvement and Power Loss Reduction in Transmission Systems using Series Capacitor*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 132, 107176.

Putra, H. A., & Kurniawan, D. (2020). *Simulasi Profil Tegangan Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan MATLAB*. Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, 8(4), 527–532.

Nugraha, R. Y., & Susanto, D. (2021). *Analisa Efisiensi Energi pada Saluran Transmisi Udara dan Kabel Tanah Tegangan Tinggi*. Jurnal Rekayasa Elektrika, 15(2), 122–128.

Thapa, D., & Tamrakar, R. (2023). *Comparative Performance Analysis of Overhead and Underground Transmission Line Using MATLAB Simulink*. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 12(5), 49–54.

Fadilah, R., & Sutanto, H. (2022). *Evaluasi Rugi-Rugi Daya pada Sistem Transmisi 150 kV Berbasis Pemodelan MATLAB*. Jurnal Energi dan Kelistrikan, 10(1), 1–7.

Ibrahim, M., & Raza, M. (2023). *Modeling and Analysis of High Voltage Underground and Overhead Transmission Lines in MATLAB*. IEEE Transactions on Power Delivery, 38(1), 98–105.

Prasetyo, E., & Wahyudi, T. (2020). *Studi Komparatif Saluran Transmisi Overhead dan Underground pada Sistem 150 kV*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 9(3), 115–120.

Khan, R., & Malik, S. (2021). *Voltage Drop Analysis of Underground Power Cable Using MATLAB*. International Journal of Power Systems, 7(2), 87–93.

Yusuf, M. A., & Farida, S. (2022). *Analisa Kehilangan Daya Listrik pada Jaringan Transmisi Menggunakan Perangkat Lunak MATLAB*. Jurnal Elektro dan Telekomunikasi, 7(2), 201–207.

Rahman, M., & Chowdhury, S. (2021). *Power Loss Assessment in High Voltage Transmission Systems Using Simulink Models*. Journal of Electrical Engineering & Technology, 16(6), 2763–2772.

Rinaldi, A., & Saputra, A. (2023). *Pemodelan Tegangan Kirim dan Arus Kirim Saluran Transmisi Menggunakan MATLAB*. Jurnal Teknik Energi, 5(1), 45–52.

Sharma, A., & Singh, R. (2020). *Loss Reduction Strategies for HV Underground Transmission Line Using MATLAB Toolbox*. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 9(12), 2278–2290.

Febrianto, D., & Siregar, H. (2021). *Simulasi dan Analisis Rugi Daya pada Saluran Transmisi 150 kV di Wilayah Urban*. Jurnal Teknologi Listrik, 12(3), 155–162.

Kurniasari, D., & Wijaya, R. (2022). *Studi Rugi Daya dan Profil Tegangan pada Jaringan Transmisi Panjang Menggunakan MATLAB Simulink*. Jurnal Sistem Tenaga, 11(1), 30–37.

Nawaz, A., & Bashir, F. (2024). *Performance Comparison of Underground vs Overhead Transmission Lines in Power Loss and Voltage Profile Using MATLAB*. Energy Reports, 10, 321–328.

Sholeha, D., Fitra Zambak, M., Tri Nugraha, Y., & Studi Magister Teknik Elektro, P. (2022). Implementasi ANFIS Dalam Prakiraan Perkembangan Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia Pada Tahun 2030. *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl. Denai No*, *5*(2).