



Implementasi Konstanta ABCD pada Saluran Transmisi 150kV Berbasis ICT

Debi Rahmadani^{1*}, Helmi Alfianza², Hasan Yanmar Lubis³, Feby G Telaumbanua⁴, Ivan Aditya Pasaribu⁵, Ricco Perangin-Angin⁶, Agus Junaidi⁷

¹⁻⁷Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Indonesia

*Penulis Korespondensi: debi.5221230004@mhs.unimed.ac.id¹

Abstract. Modern power systems rely on high-voltage transmission lines as the primary means of delivering energy from generating stations to load centers. In Indonesia, the 150 kV network serves as the backbone of regional interconnection, making accurate analysis essential to maintain voltage quality and minimize power losses. This study aims to analyze the performance of the 150 kV Payapasir–Mabar transmission line using the ABCD parameter approach based on the nominal- π model. The methodology involves calculating ABCD constants from technical line data and validating the results with real-time operational data obtained from the Information and Communication Technology (ICT) system. Two operating conditions are selected as case studies: normal load (07:00 WIB) and peak load (19:00 WIB). The results indicate that constants A and D are close to unity, reflecting system stability. Under normal load, GIS 1 delivered 34.82 MW with an efficiency of 97.6% and a voltage regulation of 0.79%, while GIS 2 achieved 97.38% efficiency with 0.52% regulation. At peak load, voltage regulation increased to 1.24% for GIS 1 and 1.22% for GIS 2, yet efficiency remained high at above 97.3%. The findings demonstrate that the ABCD parameters can serve not only as a theoretical framework but also as a predictive analysis tool to evaluate line performance, support dynamic monitoring, and facilitate rapid decision-making in maintaining the reliability of the 150 kV transmission network.

Keywords: 150 kV Transmission Line; ABCD Constants; Efficiency; ICT; Voltage Regulation

Abstrak. Sistem tenaga listrik modern mengandalkan saluran transmisi tegangan tinggi sebagai sarana utama penyaluran energi dari pusat pembangkit ke pusat beban. Di Indonesia, jaringan 150 kV menjadi tulang punggung interkoneksi regional sehingga diperlukan analisis akurat untuk menjaga kualitas tegangan dan meminimalkan rugi-rugi daya. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja saluran transmisi 150 kV Payapasir–Mabar dengan pendekatan konstanta ABCD berbasis model π -nominal. Metode penelitian meliputi perhitungan konstanta ABCD menggunakan data teknis saluran dan validasi hasil dengan data operasional real-time dari sistem Information and Communication Technology (ICT). Dua kondisi operasi dipilih sebagai studi kasus, yaitu beban normal (07.00 WIB) dan beban puncak (19.00 WIB). Hasil perhitungan menunjukkan nilai konstanta A dan D mendekati 1, menandakan kestabilan sistem. Pada beban normal, GIS 1 menyalurkan daya 34,82 MW dengan efisiensi 97,6% dan regulasi tegangan 0,79%, sedangkan GIS 2 memiliki efisiensi 97,38% dengan regulasi 0,52%. Pada beban puncak, regulasi tegangan meningkat menjadi 1,24% pada GIS 1 dan 1,22% pada GIS 2, namun efisiensi tetap tinggi di atas 97,3%. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa konstanta ABCD dapat digunakan sebagai alat analisis prediktif untuk evaluasi kinerja saluran, mendukung monitoring dinamis, serta pengambilan keputusan cepat dalam menjaga keandalan jaringan transmisi 150 kV.

Kata Kunci: Efisiensi; ICT; Konstanta ABCD; Regulasi Tegangan; Saluran Transmisi 150 kV

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik modern merupakan jaringan yang kompleks dan saling bergantung, di mana keandalan setiap komponennya sangat menentukan kontinuitas pasokan energi (Masarrang et al., 2019; Tuwaidan et al., 2023). Dalam konteks ini, saluran transmisi memegang peranan penting sebagai penghubung antara pusat pembangkit dan gardu induk untuk memastikan kualitas tegangan dan kontinuitas suplai tetap terjaga. Di Indonesia, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV berfungsi sebagai tulang punggung utama penyaluran daya karena mampu menyalurkan energi dalam jumlah besar dengan efisiensi yang tinggi (Galla et al., 2020).

Salah satu jalur transmisi signifikan di Sumatra Utara adalah interkoneksi GIS Mabar – GI PayaPasir yang memiliki panjang sekitar 5,93 km. Meskipun tergolong jalur yang relatif pendek, keberadaannya sangat vital karena menghubungkan pusat beban industri di Medan dengan sistem interkoneksi regional. Oleh karena itu, keandalan operasional jalur ini perlu diperhitungkan secara serius untuk menjamin stabilitas pasokan energi (Oktavian et al., 2017).

Untuk mengevaluasi kinerja saluran transmisi digunakan pendekatan konstanta ABCD, yang merepresentasikan hubungan antara tegangan dan arus pada sisi pengirim maupun sisi penerima. Konstanta ini terdiri atas parameter impedansi seri (Z) dan admitansi shunt (Y), yang dapat dijadikan dasar untuk menghitung rugi-rugi daya, regulasi tegangan, dan efisiensi penyaluran. Pada penelitian ini digunakan model π -nominal, karena mampu memberikan keseimbangan antara akurasi dan kesederhanaan perhitungan, sehingga sangat sesuai untuk menganalisis saluran jarak menengah (Galla et al., 2020).

Sejalan dengan perkembangan era Smart Grid, integrasi Information and Communication Technology (ICT) semakin memperkuat relevansi analisis berbasis konstanta ABCD. Melalui sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) maupun Phasor Measurement Unit (PMU), data operasi seperti tegangan, arus, dan daya dapat diperoleh secara real-time [5];[6]. Kehadiran data ini tidak hanya berfungsi sebagai dasar validasi model matematis, tetapi juga menjadikan konstanta ABCD sebagai alat prediksi berbasis monitoring yang adaptif terhadap dinamika operasi sistem transmisi (Molero et al., 2025).

Dengan demikian, penelitian mengenai implementasi konstanta ABCD pada saluran transmisi 150 kV GIS Mabar – GI PayaPasir menjadi sangat penting. Melalui pemodelan π -nominal yang divalidasi dengan data real-time, diharapkan diperoleh analisis yang lebih akurat mengenai kinerja saluran, khususnya dari aspek regulasi tegangan dan efisiensi pada kondisi beban normal maupun beban puncak. Pendekatan ini diharapkan mampu menunjukkan sinergi antara model analisis fundamental dengan teknologi monitoring modern, sehingga

menghasilkan evaluasi yang relevan, aplikatif, dan bermanfaat bagi pengelolaan sistem transmisi.

2. METODOLOGI

Metode

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental serta pemodelan berbasis simulasi yang berfokus pada kajian dan analisis karakteristik saluran transmisi 150 kV jarak menengah. Tujuan utamanya adalah memvalidasi sekaligus mengevaluasi kinerja model saluran transmisi melalui pendekatan π -nominal dengan pemanfaatan konstanta ABCD.

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan analisis karakteristik saluran transmisi 150 kV jarak menengah melalui konstanta ABCD berbasis model π -nominal. Nilai konstanta ABCD dihitung menggunakan parameter saluran, meliputi impedansi seri (Z) dan admitansi shunt (Y) yang diperoleh dari data teknis konduktor, panjang saluran, serta konfigurasi jaringan, kemudian dirumuskan ke dalam bentuk matriks konstanta ABCD sebagai berikut:

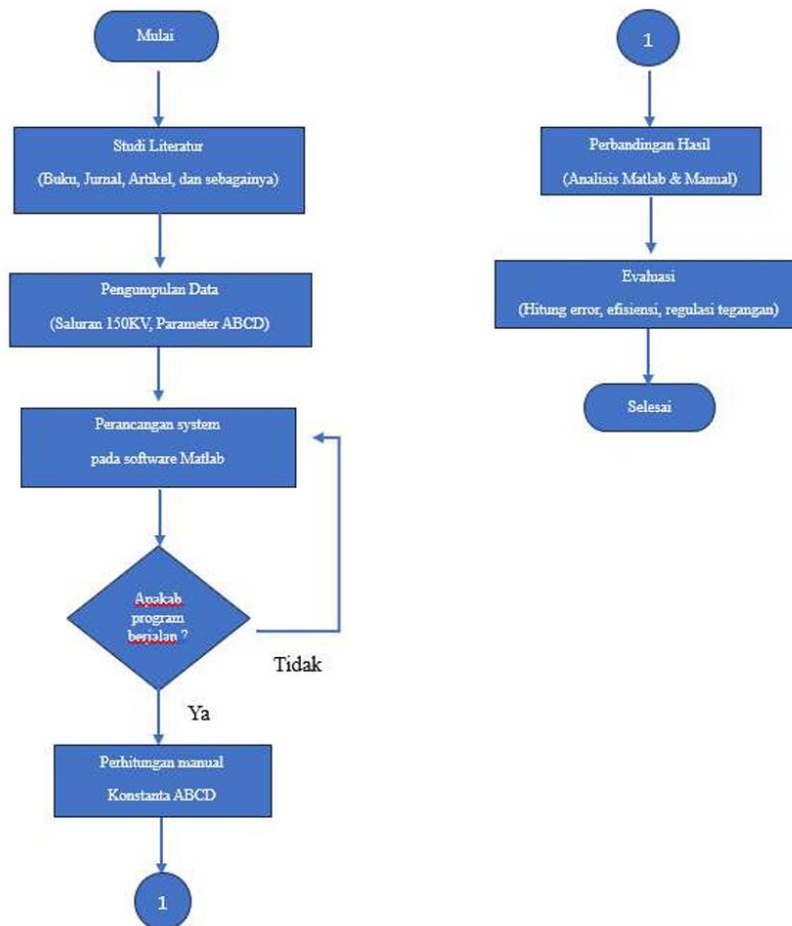
$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{YZ}{2} & Z \\ Y \left(1 + \frac{YZ}{4} \right) & 1 + \frac{YZ}{2} \end{bmatrix}$$

dengan keterangan: Z = impedansi seri saluran (Ω) Y = admitansi shunt saluran (S)

A, B, C, D = konstanta transmisi yang merepresentasikan hubungan tegangan dan arus antara sisi pengirim (sending end) dan sisi penerima (receiving end).

Simulasi perhitungan dilaksanakan dengan bantuan MATLAB/Simulink sebagai perangkat berbasis ICT. MATLAB digunakan untuk melakukan komputasi konstanta ABCD sekaligus memvisualisasikan distribusi tegangan dan arus menggunakan model π -nominal. Hasil simulasi ini dibandingkan dengan perhitungan manual untuk menilai kesesuaian model π -nominal dalam merepresentasikan kondisi aktual saluran transmisi jarak menengah.

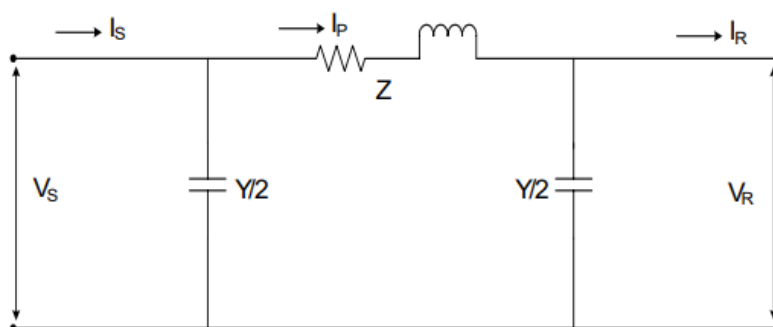
Analisis berfokus pada parameter kinerja sistem transmisi, meliputi profil tegangan, arus, efisiensi, dan regulasi tegangan. Sebagai studi kasus, digunakan data saluran transmisi 150 kV yang menghubungkan GI Mabar dengan GI Paya Pasir. Data teknis lapangan, seperti panjang saluran, jenis konduktor, dan parameter per-unit dijadikan dasar perhitungan dan simulasi. Sistem ditampilkan dalam bentuk single line diagram pada MATLAB sehingga hasil implementasi konstanta ABCD lebih mudah divisualisasikan dan dipahami.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Pemodelan Sistem

Pemodelan saluran transmisi dalam penelitian ini menggunakan pendekatan model π -nominal, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pada model ini, karakteristik saluran direpresentasikan melalui impedansi seri (Z) pada konduktor dan admitansi shunt ($Y/2$) yang ditempatkan di kedua ujung saluran.



Gambar 2. Diagram pengganti saluran transmisi menengah nominal π

Sebagai objek studi digunakan saluran transmisi 150 kV yang menghubungkan GI Payapasir dengan GI Mabar. Data operasi diambil pada dua kondisi, yaitu saat beban rendah (pukul 07:00) dan beban puncak (pukul 19:00).

Tabel 1. Data Operasi Saluran GI Payapasir – GI Mabar.

Waktu	Tegangan Antar Fasa (kV)	Tegangan Fasa–Netral (kV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus Saluran (A)
7:00	144 – 148	84 – 85	32 – 34	8 – 10	134 – 140
19:00	144 – 145	82 – 83	32	11	131

Selain kondisi operasi, data teknis konduktor juga digunakan sebagai dasar perhitungan konstanta ABCD.

Tabel 2. Data Teknis Saluran GI Payapasir – GI Mabar.

Parameter	Nilai
Jenis Konduktor	ACSR Duck
Luas Penampang	300 mm ²
Panjang Saluran	5,93 km per sirkit
Jumlah Sirkit	2
Arus Nominal	745 A

Dengan menggunakan data teknis tersebut, diperoleh nilai impedansi seri (Z) serta admitansi shunt (Y) yang kemudian dimasukkan ke dalam formulasi matriks konstanta ABCD untuk menganalisis karakteristik saluran transmisi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dianalisis dalam penelitian ini diperoleh dari pencatatan kondisi operasi saluran transmisi 150 kV jarak menengah. Parameter utama yang dipakai mencakup panjang saluran, nilai impedansi seri (R dan X), admitansi shunt (Y), tegangan sisi penerima (V_R), arus sisi penerima (I_R), serta faktor daya pada sisi penerima.

Pada saluran jarak menengah, model perhitungan menggunakan pendekatan nominal π . Konstanta ABCD ditentukan dengan rumus:

$$A = 1 + \frac{YZ}{2}, \quad B = Z \left(1 + \frac{YZ}{4} \right), \quad C = Y, \quad D = A$$

Dengan:

$$Z = R + jX \rightarrow \text{impedansi seri saluran} \quad Y = jB \rightarrow \text{admitansi shunt saluran}$$

Setelah nilai konstanta ABCD diperoleh, maka tegangan pengirim (V_S) dan arus pengirim (I_S) dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_S = A \cdot V_R + B \cdot I_R$$

$$I_S = C \cdot V_R + D \cdot I_R$$

Selanjutnya, dilakukan analisis untuk menentukan parameter kinerja saluran, dengan rumus sebagai berikut:

Faktor daya pengirim ($\cos \phi_s$): $\cos \phi_s = \cos < (V_s - I_s)$

Daya sisi pengirim (P_s): $P_s = \sqrt{3} V_s \times I_s \times \text{Pf}_s$

Rugi – rugi daya (PL) = $PS - PR$

Regulasi tegangan (%) = $\%Reg = \frac{|V_s| - |V_R|}{|V_R|} \times 100\%$

Efisiensi: $\eta = \frac{P_R}{P_S} \times 100\%$

Simulasi menggunakan MATLAB R2023a menghasilkan parameter utama sistem, meliputi daya kirim (P_s), rugi-rugi daya (PL), regulasi tegangan (Reg), dan efisiensi (Eff). Ringkasan perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Kinerja Saluran Berbasis Konstanta ABCD
(07.00 WIB dan 19.00 WIB).

Saluran	Z (Ω)	Parameter ABCD (A, B, C, D)	V_s (kV)	I_s (A)	Pf_s	P_s (MW)	PL (MW)	Reg (%)	Eff (%)
GIS 1 (07:00)	0.581 + j2.071	A = 0.998240 + j0.000494 B = 0.579977 + j2.069321 Ω C = j0.001700 D = A	84.66	140	0.93	34.82	0.82	0.79	97.6
GIS 2 (07:00)	1.165 + j2.087	A = 0.998435 + j0.000874 B = 1.163176 + j2.085876 Ω C = j0.001500 D = A	84.44	134	0.93	32.86	0.86	0.52	97.38
GIS 1 (19:00)	0.581 + j2.071	A = 0.998240 + j0.000494 B = 0.579977 + j2.069321 Ω C = j0.001700 D = A	83	131	0.93	32.4	0.79	1.24	97.59
GIS 2 (19:00)	1.165 + j2.087	A = 0.998435 + j0.000874 B = 1.163176 + j2.085876 Ω C = j0.001500 D = A	83	131	0.93	31.9	0.88	1.22	97.31

Berdasarkan tabel 3 diperoleh bahwa GIS 1 memiliki impedansi seri sebesar $Z = 0.581 + j2.071 \Omega$ sedangkan GIS 2 sebesar $Z = 1.165 + j2.087$ Nilai impedansi yang lebih tinggi pada GIS 2 menyebabkan rugi-rugi daya lebih besar dan efisiensi sedikit lebih rendah, meskipun daya kirimnya tidak sebesar GIS 1. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan parameter saluran berpengaruh langsung terhadap konstanta ABCD dan kinerja sistem.

Kondisi Beban Normal (07.00 WIB)

Hasil perhitungan pada pagi hari menunjukkan bahwa GIS 1 mampu menyalurkan daya sebesar 34.82 MW dengan rugi-rugi 0.82 MW, regulasi tegangan 0.79%, dan efisiensi 97.6%. Sementara GIS 2 menyalurkan 32.86 MW dengan rugi-rugi 0.86 MW, regulasi tegangan

0.52%, dan efisiensi 97.38%. Dengan demikian, GIS 1 lebih unggul dalam daya kirim dan efisiensi, meskipun regulasi tegangannya sedikit lebih besar dibandingkan GIS 2.

Kondisi Beban Puncak (19.00 WIB)

Saat beban meningkat di malam hari, kinerja saluran mengalami perubahan. GIS 1 mencatat daya kirim 32.4 MW dengan rugi-rugi 0.79 MW, regulasi tegangan 1.24%, dan efisiensi 97.59%. Sedangkan GIS 2 menyalurkan 31.9 MW dengan rugi-rugi 0.88 MW, regulasi tegangan 1.22%, dan efisiensi 97.31%. Jika dibandingkan dengan beban normal, regulasi tegangan pada kedua saluran hampir dua kali lipat, menunjukkan penurunan kemampuan saluran dalam menjaga kestabilan tegangan. Walau begitu, nilai efisiensi tetap tinggi di atas 97%.

Secara umum, kedua saluran masih beroperasi dengan baik dan memiliki keandalan tinggi. Efisiensi yang mencapai lebih dari 97% mencerminkan rendahnya rugi-rugi daya pada saluran jarak menengah. Namun, meningkatnya regulasi tegangan pada saat beban puncak perlu menjadi perhatian karena berpotensi memengaruhi kualitas tegangan di sisi penerima. Penerapan metode konstanta ABCD terbukti mampu menggambarkan kondisi nyata saluran dengan baik serta mendukung sistem monitoring berbasis ICT untuk memprediksi parameter operasi secara dinamis.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis kinerja saluran transmisi 150 kV jarak menengah pada dua periode operasi (07.00 WIB dan 19.00 WIB) dengan pendekatan model π -nominal dan konstanta ABCD menunjukkan bahwa baik GIS 1 maupun GIS 2 mampu beroperasi dengan tingkat efisiensi yang sangat baik, yaitu selalu di atas 97.3%. Pada kondisi beban normal (07.00 WIB), GIS 1 mencatat daya kirim (P_s) tertinggi sebesar 34.82 MW dengan efisiensi 97.6% serta regulasi tegangan (Reg) sebesar 0.79%. Sedangkan GIS 2 memiliki efisiensi 97.38% dengan Reg 0.52%. Temuan penting dari penelitian ini adalah terjadinya peningkatan regulasi tegangan pada saat beban puncak (19.00 WIB). Nilai Reg pada GIS 1 naik dari 0.79% menjadi 1.24%, sementara pada GIS 2 meningkat dari 0.52% menjadi 1.22%. Meskipun demikian, efisiensi kedua saluran tetap tinggi (97.59% pada GIS 1 dan 97.31% pada GIS 2). Kondisi ini menunjukkan bahwa beban puncak berpengaruh terhadap kestabilan tegangan, meskipun tidak menurunkan efisiensi sistem secara signifikan. Secara keseluruhan, rugi-rugi daya (P^L) masih sangat terkendali dengan nilai maksimum 0.88 MW, sehingga kedua saluran dapat dikatakan memiliki performa yang handal dan efisien dalam kondisi operasi harian.

Referensi

- R. Masarrang, L. Stiowaty Patras, and H. Tumaliang, “Efek Korona pada Saluran Transmisi GarduInduk Tello Sulawesi Selatan,” 2019.
- I. A. Tuwaidan, L. S. Patras, and N. M. Tulung, “Analysis of Transmission Condition on The 150kV Lopana-GIS Teling Transmission Line,” 2023.
- W. F. Galla, A. S. Sampeallo, A. Lenjo, and H. Artikel, “Analisis Tegangan Saluran Transmisi 70 Kv Pada Sistem Timor Dengan Parameter Abcd Info Artikel Abstract,” *Jurnal Media Elektro*, 2020. <https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.2673>
- R. Oktavian, S. Rony, S. T. Wibowo, E. I. Made, and Y. Negara, “Analysis Of Power System Reliability In Bali Region 150kv Power System Using Monte Carlo Method,” 2017.
- C. Gerez, E. W. S. Angelos, F. P. Albuquerque, E. C. M. Da Costa, A. J. S. Filho, and L. H. B. Liboni, “Estimation of the Frequency-Dependent Parameters of Transmission Lines by Using Synchronized Measurements,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 17526–17541, 2022, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3150310>
- M. S. Shaikh, S. Raj, M. Ikram, and W. Khan, “Parameters estimation of AC transmission line by an improved moth flame optimization method,” *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 9, no. 1, Dec. 2022, <https://doi.org/10.1186/s43067-022-00066-x>
- C. Molero, P. H. Zapata-Cano, and A. Alex-Amor, “Transfer ABCD Matrix for Time-Varying Media and Time Crystals,” *physics.app-ph*, 2025, <https://doi.org/10.1109/TAP.2025.3602115>
- A. Dani, “Analisis Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi 150 kV pada Gardu Induk KIM,” *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, vol. 2, no. 11, pp. 1892–1898, Nov. 2021 <https://doi.org/10.36418/jist.v2i11.265>
- Y. H. Purwantoro, “Analisis Saluran Transmisi 150 kV dengan Menggunakan Model Konstanta ABCD,” *Laporan Teknik Elektro*, Institut Teknologi Nasional Malang, 20070112076
- Departemen Teknik Elektro ITN, *Transmisi Daya Listrik*, Buku Ajar, 2020.