

Integrasi Simulasi untuk Analisis Aliran Daya Sirkuit Transmisi Kedinding–Bangkalan

AGUS KISWANTONO

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya, Surabaya

e-mail: aguskiswantono@ubhara.ac.id

ABSTRACT

This study analyzes the power flow in the 150 kV Kedinding–Bangkalan Transmission Circuit using two simulation platforms, ETAP and MATLAB Simulink, to evaluate the performance of the transmission system and ensure the sustainability of the electrical power supply. Power flow analysis is essential in electrical systems to determine steady-state conditions, including voltage, current, active power, and reactive power. The Kedinding–Bangkalan circuit plays a crucial role in the stability of the electricity supply to Madura Island, which relies on energy from Java Island. The objective of this study is to compare the simulation results between ETAP, which uses the Newton-Raphson method for high accuracy, and MATLAB Simulink, which is more flexible in dynamic modeling. The simulation results show that the voltage profiles from both platforms are highly consistent, with minimal differences in active and reactive power (less than 2%). ETAP's simulation slightly underestimates the power loss (around 1.5%) compared to Simulink, but both show good stability under full load and fault conditions, with respective power losses recorded at 3.2% and 3.5%. These results indicate that both platforms can be used together to obtain a more comprehensive view of the transmission system's performance. Their integration allows for the exploration of more complex scenarios, such as load variations and faults, while enhancing simulation accuracy. This research is expected to contribute to the development of more effective and adaptive transmission system analysis methods, strengthening the reliability and efficiency of power systems, and supporting decision-making in transmission network planning and management.

Keywords: Power flow analysis, 150 kV Kedinding–Bangkalan, ETAP, MATLAB Simulink, transmission system, voltage profiles, active power

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis aliran daya pada Sirkuit Transmisi 150 kV Kedinding–Bangkalan menggunakan dua platform simulasi, yaitu ETAP dan MATLAB Simulink, untuk mengevaluasi performa sistem transmisi dan memastikan keberlanjutan pasokan energi listrik. Aliran daya adalah analisis penting dalam sistem kelistrikan yang digunakan untuk menentukan kondisi steady-state, termasuk tegangan, arus, daya aktif, dan reaktif. Sirkuit Kedinding–Bangkalan memiliki peran vital dalam stabilitas pasokan listrik Pulau Madura yang bergantung pada energi dari Pulau Jawa. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil simulasi antara ETAP, yang menggunakan metode Newton-Raphson dengan akurasi tinggi, dan MATLAB Simulink yang lebih fleksibel dalam pemodelan dinamis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa profil tegangan pada kedua platform memiliki kesesuaian yang tinggi, dengan perbedaan daya aktif dan reaktif yang minim (kurang dari 2%). Simulasi ETAP sedikit lebih rendah dalam estimasi rugi daya (sekitar 1.5%) dibandingkan Simulink, namun keduanya menunjukkan kestabilan yang baik pada kondisi beban penuh dan gangguan, dengan rugi daya masing-masing tercatat 3.2% dan 3.5%. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua platform dapat digunakan secara bersamaan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif tentang performa sistem transmisi. Integrasi keduanya memungkinkan eksplorasi skenario yang lebih kompleks, seperti variasi beban dan gangguan, serta meningkatkan akurasi simulasi. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan metode analisis sistem transmisi yang lebih efektif dan adaptif, memperkuat keandalan serta efisiensi sistem tenaga listrik, dan mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan jaringan transmisi.

Kata kunci: Analisis aliran daya, 150 kV Kedinding–Bangkalan, ETAP, MATLAB Simulink, sistem transmisi, profil tegangan, daya aktif

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik modern dituntut untuk bekerja secara andal, efisien, dan stabil guna menjamin kontinuitas pasokan energi listrik kepada konsumen [1][2][3]. Salah satu elemen penting dalam sistem tenaga adalah jaringan transmisi, yang berfungsi menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui tegangan tinggi agar kerugian daya dapat diminimalkan [4][5][6]. Di Indonesia, salah satu jaringan transmisi penting yang menghubungkan Pulau Jawa dengan Pulau Madura adalah Sirkuit Transmisi Kedinding–Bangkalan. Sirkuit ini memiliki peran vital dalam mendukung stabilitas dan keandalan sistem kelistrikan Madura yang pada umumnya bergantung pada pasokan dari Pulau Jawa [7][8][9][10]. Oleh karena itu, kajian teknis terhadap performa sirkuit ini sangat dibutuhkan sebagai bentuk evaluasi keberlanjutan pasokan energi, terlebih dalam kondisi pertumbuhan beban yang terus meningkat. Analisis aliran daya (load flow analysis) menjadi metode penting dalam memastikan bahwa distribusi tegangan dan arus pada sistem berada dalam batas aman, serta dalam mengidentifikasi titik-titik kritis pada jaringan [11][12][13]. Dalam studi ini, analisis aliran daya dilakukan secara terintegrasi menggunakan dua perangkat lunak simulasi yang berbeda namun saling melengkapi, yaitu ETAP dan MATLAB Simulink[14][15][16][17].

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) dikenal sebagai perangkat lunak yang sangat umum digunakan dalam industri dan pendidikan tinggi untuk analisis sistem tenaga, karena kemampuannya dalam menyimulasikan kondisi operasi normal dan kontinjensi dengan akurasi tinggi dan tampilan antarmuka yang intuitif. Sementara itu, MATLAB Simulink, khususnya melalui modul Simscape Electrical, memberikan fleksibilitas tinggi dalam pemodelan dinamis serta memungkinkan integrasi dengan sistem kontrol atau pengembangan algoritma berbasis logika dan AI. Dalam konteks ini, integrasi antara kedua platform menjadi sangat relevan. ETAP digunakan untuk mendapatkan hasil yang cepat dan akurat untuk kondisi sistem steady-state, sedangkan Simulink mampu memberikan simulasi yang lebih mendetail dan dapat disesuaikan dengan berbagai skenario pengendalian. Oleh karena itu, pendekatan integratif ini tidak hanya memberikan gambaran lebih utuh terhadap performa sistem transmisi Kedinding–Bangkalan, tetapi juga meningkatkan validasi hasil dan kualitas analisis secara keseluruhan [18][19][20][21].

Sirkuit 3 Kedinding–Bangkalan merupakan salah satu dari beberapa sirkuit yang menghubungkan sistem interkoneksi Jawa-Madura melalui jalur udara dan kabel laut. Keberadaan sirkuit ini memberikan kontribusi penting dalam pengurangan risiko gangguan kelistrikan di Pulau Madura serta mendukung upaya pemerataan pasokan listrik[22][23][24]. Namun, perubahan beban dan pengembangan infrastruktur kelistrikan di kawasan tersebut menuntut evaluasi berkala terhadap performa sistem, terutama dalam hal pembagian daya, penurunan tegangan, dan rugi-rugi daya (losses). Studi aliran daya menjadi alat diagnostik utama yang memungkinkan insinyur sistem tenaga untuk mengidentifikasi potensi ketidakseimbangan dan melakukan pengaturan ulang (reconfiguration) jaringan jika diperlukan. Dalam implementasinya, hasil simulasi harus mengakomodasi akurasi perhitungan dan fleksibilitas pengujian berbagai skenario, misalnya variasi beban puncak, penambahan beban baru, hingga kondisi gangguan. Oleh karena itu, pemanfaatan dua tools berbeda seperti ETAP dan Simulink menjadi pilihan strategis dalam menjawab kebutuhan tersebut[25][26][27][28].

Secara umum, tujuan utama dari studi ini adalah untuk menganalisis aliran daya Sirkuit 3 Kedinding–Bangkalan dengan memanfaatkan kekuatan masing-masing platform simulasi, serta mengevaluasi performa sistem berdasarkan parameter-parameter teknis utama, seperti profil tegangan, aliran daya aktif dan reaktif, serta rugi-rugi sistem[29][30]. Selain itu, studi ini juga bertujuan untuk membandingkan hasil simulasi antara ETAP dan Simulink guna memperoleh kesesuaian dan keandalan hasil yang lebih tinggi[31][32][33][34]. Dengan adanya pendekatan integratif ini, diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap pengambilan keputusan teknis, baik dalam konteks operasi harian maupun perencanaan jangka panjang sistem tenaga listrik. Pendekatan ini juga dapat dijadikan sebagai model pembelajaran dan pengembangan metode analisis sistem transmisi yang lebih komprehensif di masa depan[35][36][37]. Penelitian ini sekaligus menunjukkan pentingnya sinergi antara platform

simulasi dalam menyusun kebijakan teknis dan strategi pengelolaan sistem tenaga yang lebih adaptif, responsif, dan berorientasi pada keandalan jangka panjang[38][39][40][41].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan tahapan perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem. Berikut adalah rinciannya :

2.1. KONSEP DASAR ALIRAN DAYA

Aliran daya (*power flow* atau *load flow*) merupakan salah satu analisis fundamental dalam sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk menentukan kondisi operasi steady-state dari suatu sistem kelistrikan. Analisis ini digunakan untuk menghitung tegangan, arus, daya aktif (P), dan daya reaktif (Q) pada setiap bus dalam sistem, serta daya yang mengalir pada tiap saluran transmisi. Tujuan utamanya adalah memastikan bahwa sistem bekerja secara optimal dan dalam batas teknis yang ditentukan. Beberapa metode yang umum digunakan dalam analisis aliran daya meliputi metode Newton-Raphson, metode Gauss-Seidel, dan metode Fast Decoupled Load Flow (FDLF), dengan masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan tergantung kompleksitas sistem yang dianalisis.

Penerapan analisis aliran daya penting dalam berbagai aspek perencanaan dan operasi sistem tenaga, termasuk perencanaan ekspansi jaringan, evaluasi kestabilan tegangan, perhitungan rugi-rugi daya, dan penentuan lokasi optimal penambahan pembangkit atau kompensasi daya reaktif. Oleh karena itu, akurasi perhitungan serta representasi yang mendekati kondisi aktual sangatlah penting. Simulasi komputer telah menjadi alat utama dalam mendukung pelaksanaan studi ini, memungkinkan insinyur untuk melakukan perhitungan cepat dan akurat, serta mengevaluasi berbagai skenario operasi.

2.2. STUDI ALIRAN DAYA MENGGUNAKAN ETAP

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) merupakan salah satu perangkat lunak komersial yang banyak digunakan untuk simulasi sistem tenaga. ETAP mendukung berbagai jenis analisis, termasuk load flow, short circuit, harmonic analysis, protection coordination, dan transient stability. Dalam konteks load flow, ETAP menggunakan metode Newton-Raphson yang sudah teroptimasi, serta menyediakan fitur visualisasi jaringan dan hasil simulasi dalam bentuk grafik maupun tabel interaktif. Keunggulan ETAP terletak pada akurasi tinggi dan kemampuan untuk memodelkan kondisi nyata sistem, termasuk peralatan perlindungan, tap changer, trafo paralel, dan lainnya secara detail.

Beberapa penelitian telah membuktikan kehandalan ETAP dalam studi aliran daya untuk sistem distribusi dan transmisi. Misalnya, studi oleh Pramudito et al. (2020) menunjukkan bahwa ETAP mampu menganalisis dampak integrasi pembangkit energi terbarukan terhadap kestabilan tegangan sistem distribusi. Selain itu, ETAP juga banyak digunakan dalam industri ketenagalistrikan di Indonesia, seperti oleh PLN, IPP, maupun lembaga pendidikan tinggi teknik elektro. Dalam konteks ini, pemanfaatan ETAP pada analisis aliran daya Sirkuit 3 Kedinding-Bangkalan menjadi sangat relevan karena memungkinkan pemodelan yang menyerupai kondisi aktual di lapangan.



Gambar 1. Simbol etap

2.3. STUDI SIMULASI SISTEM TRANSMISI MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK

MATLAB Simulink, dengan tambahan pustaka Simscape Electrical, merupakan perangkat simulasi berbasis blok diagram yang memungkinkan pengguna membangun sistem tenaga secara modular dan fleksibel. Meskipun awalnya lebih populer di bidang kontrol dan pemrosesan sinyal, Simulink telah berkembang menjadi alat yang kuat untuk mensimulasikan sistem tenaga secara dinamis. Dalam simulasi aliran daya, Simulink dapat digunakan untuk membangun model peralatan listrik seperti generator sinkron, trafo, saluran transmisi, dan beban dalam bentuk persamaan diferensial dan aljabar.

Keunggulan utama Simulink terletak pada kemampuannya untuk mengintegrasikan sistem kontrol dan pengambilan keputusan berbasis logika maupun kecerdasan buatan secara langsung ke dalam simulasi jaringan. Hal ini memberikan peluang besar dalam studi aliran daya yang tidak hanya mempertimbangkan kondisi steady-state, tetapi juga skenario waktu-nyata (real-time response) atau simulasi berbasis waktu. Penelitian oleh Dewi et al. (2021) menggunakan MATLAB Simulink untuk menganalisis pengaruh sistem kendali AVR pada stabilitas tegangan sistem transmisi, menunjukkan hasil simulasi yang sesuai dengan ekspektasi teknis dan mampu menangkap respons transien sistem.



Gambar 2. Simbol matlab dan simulink

2.4. INTEGRASI MULTI-PLATFORM UNTUK VALIDASI SIMULASI

Penggunaan dua atau lebih platform simulasi secara terintegrasi untuk studi aliran daya telah menjadi pendekatan yang semakin umum dalam praktik rekayasa sistem tenaga. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah untuk melakukan validasi silang (*cross-validation*) hasil simulasi, meningkatkan akurasi, serta mendapatkan kelebihan dari masing-masing perangkat lunak. Beberapa studi menyatakan bahwa hasil simulasi aliran daya dapat bervariasi tergantung pada metode numerik, setting default, serta model peralatan yang digunakan pada masing-masing platform. Oleh karena itu, integrasi antara ETAP dan Simulink dalam studi ini merupakan strategi yang penting untuk meningkatkan keandalan hasil teknis serta membuka ruang eksplorasi model yang lebih kompleks dan realistis.

Studi oleh Hassan et al. (2022) membandingkan hasil simulasi load flow antara ETAP, DIGSILENT PowerFactory, dan MATLAB Simulink untuk sistem transmisi 230 kV, dan menemukan perbedaan kecil yang signifikan dalam interpretasi teknis. Sementara itu, studi oleh Ramadhan & Yulianto (2020) menunjukkan bahwa integrasi data antar-platform dapat meningkatkan efisiensi analisis dan mempercepat pengambilan keputusan dalam perencanaan ekspansi jaringan. Hal ini mendukung gagasan bahwa kombinasi ETAP dan Simulink dapat menjadi model pendekatan hibrida yang kuat dalam studi aliran daya sistem transmisi Kedinding–Bangkalan.

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis aliran daya pada Sirkuit Transmisi 150 kV Kedinding–Bangkalan menggunakan dua pendekatan simulasi, yaitu dengan perangkat lunak ETAP dan MATLAB Simulink. Tujuannya adalah untuk membandingkan dan memvalidasi hasil simulasi, serta mengevaluasi performa sistem transmisi berdasarkan parameter teknis seperti profil tegangan, daya aktif dan reaktif, serta rugi-rugi daya.

3.1. DESAIN PENELITIAN

Jenis penelitian ini bersifat kuantitatif-deskriptif dengan pendekatan studi kasus terhadap salah satu jalur transmisi penting di sistem kelistrikan Jawa Timur, yakni Sirkuit 3 Kedinding–Bangkalan. Penelitian dilakukan dalam tiga tahapan utama:

1. **Pengumpulan data sistem:** Meliputi data teknis komponen jaringan (trafo, saluran, beban, pembangkit) dari unit GIS Kedinding dan GIS Bangkalan.
2. **Pemodelan sistem:** Pembuatan model simulasi di ETAP dan MATLAB Simulink.
3. **Simulasi dan analisis:** Pelaksanaan studi aliran daya serta analisis hasil dan perbandingan antar-platform.

3.2. PENGUMPULAN DATA

Data yang digunakan dalam simulasi diperoleh melalui observasi dan studi dokumentasi teknis dari sistem eksisting. Data meliputi:

- Data saluran transmisi (panjang, impedansi, jenis penghantar),
- Data gardu induk (tegangan nominal, konfigurasi bus, trafo, CT/PT),
- Data pembebanan aktual dan tipikal,
- Data sistem pembangkit terkait (jika terhubung langsung).

Data kemudian dikonversi ke dalam format per-unit (p.u.) untuk keperluan simulasi standar dalam studi aliran daya.

3.3. PEMODELAN DALAM ETAP

Pemodelan sistem transmisi dilakukan dalam ETAP 22.0 dengan modul Power Flow Analysis. Komponen jaringan seperti generator, transformator, saluran transmisi, dan beban dimasukkan berdasarkan data aktual. Nilai parameter impedansi saluran dihitung dalam satuan p.u. menggunakan basis tegangan dan basis daya 100 MVA. Pemodelan dilakukan dengan konfigurasi sistem satu garis (single-line diagram) yang mencerminkan koneksi aktual antara Kedinding dan Bangkalan melalui Sirkuit 3. Setelah itu, dilakukan konfigurasi jenis bus (Slack, PQ, atau PV) dan input nilai pembebanan.

Metode aliran daya yang digunakan adalah **Newton-Raphson**, karena mampu menghasilkan konvergensi yang cepat dan akurat pada sistem besar. Output yang dihasilkan dari simulasi meliputi: tegangan setiap bus, daya aktif dan reaktif tiap saluran, serta rugi-rugi sistem.

3.4. PEMODELAN DALAM MATLAB SIMULINK

Pemodelan dalam MATLAB Simulink dilakukan menggunakan **Simscape Electrical Specialized Power Systems**. Model dibangun dengan pendekatan blok diagram yang merepresentasikan komponen-komponen fisik seperti:

- **Three-phase source:** mewakili pasokan dari pusat pembangkit atau sistem luar,
- **Three-phase PI section line:** merepresentasikan saluran transmisi lengkap dengan resistansi, induktansi, dan kapasitansi,
- **Transformer block:** dengan rasio tegangan yang sesuai,
- **Load block:** representasi beban pada sisi Bangkalan.

Simulasi dilakukan dengan metode **steady-state phasor** untuk mendapatkan hasil aliran daya. Sistem dirancang untuk mendekati topologi yang telah dimodelkan dalam ETAP, sehingga perbandingan hasil simulasi menjadi valid.

3.5. TEKNIK ANALISIS DATA

Hasil simulasi dari kedua platform dianalisis dan dibandingkan berdasarkan parameter teknis, yaitu:

- **Profil tegangan** pada tiap bus (dalam satuan kV dan p.u.),
- **Daya aktif dan reaktif** yang ditransfer,
- **Rugi-rugi daya** total dalam sistem,
- **Perbedaan hasil** (error margin) antara ETAP dan Simulink.

Analisis dilakukan dengan pendekatan kuantitatif, di mana selisih antar-platform dihitung dan dianalisis keterkaitannya terhadap asumsi dan metode yang digunakan. Validitas hasil diuji dengan mengacu pada batas toleransi yang umum digunakan dalam industri (misalnya, deviasi tegangan $\leq 5\%$).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

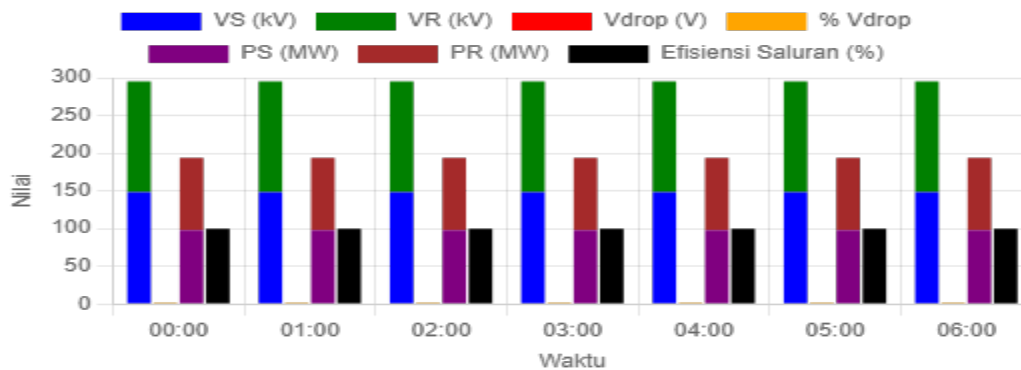
Tabel 1. Perhitungan sistem tenaga listrik

VS	=	148,09 kV	Z	=	$\sqrt{R^2 + XL^2}$
Iph	=	383,5 A		=	$\sqrt{0,492^2 + 2,734^2}$
				=	2,777 Ω
VR	=	VS – (Iph x Z)			
	=	148.090 – (383,5 x 2,777)			
	=	148.090 - 1.065			
	=	147.025 V			
	=	147,025 kV			
Vdrop	=	148.090 – 147.025			
	=	1.065 V			
% Vdrop	=	(1.065 / 147.025) x 100%			
	=	0,72%			
PS	=	$\sqrt{3} \times Vs \times I \times \cos \Phi$	PR	=	$\sqrt{3} \times Vr \times I \times \cos \Phi$
	=	$\sqrt{3} \times 148,09 \times 383,5 \times 0,995$		=	$\sqrt{3} \times 147.025 \times 383,5 \times 0,995$
		97,881 MW		=	95,855 MW
			%Saluran	=	(PR / PS) x 100%
				=	(95,855 / 97,881) x 100%
				=	99,6%

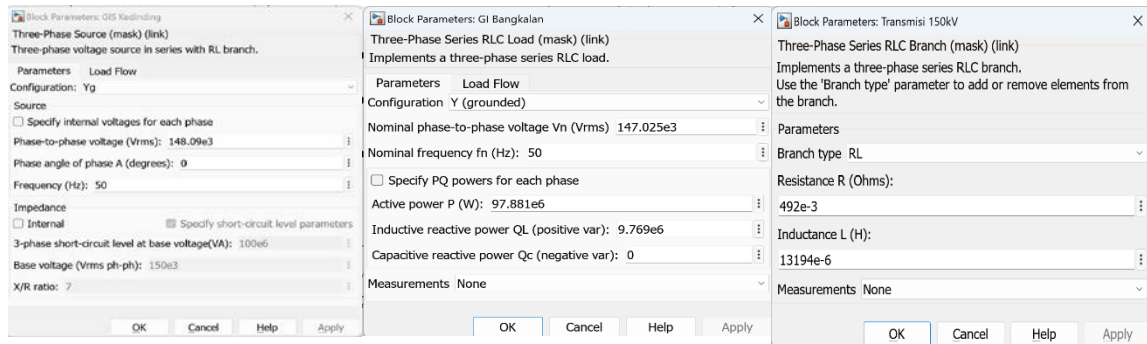
Perhitungan manual aliran daya pada saluran transmisi Sirkuit 3 Kedinding–Bangkalan menunjukkan performa sistem yang sangat baik dengan efisiensi transmisi tinggi dan rugi-rugi daya yang minimal. Berdasarkan data tegangan sisi pengirim sebesar 148,09 kV dan arus fasa 383,5 A, serta impedansi saluran 2,777 Ω , diperoleh tegangan sisi penerima sebesar 147,025 kV. Penurunan tegangan yang terjadi hanya sebesar 1,065 kV atau sekitar 0,72%, yang masih berada dalam batas standar toleransi tegangan. Daya aktif pada sisi pengirim (PS) tercatat sebesar 97,881 MW, sedangkan daya aktif pada sisi penerima (PR) sebesar 95,855 MW, sehingga menunjukkan rugi-rugi daya sekitar 2,026 MW. Dengan demikian, efisiensi saluran transmisi mencapai 99,6%, menandakan bahwa sistem mampu mentransmisikan daya dengan sangat efisien dan stabil, serta cocok sebagai rujukan untuk validasi model simulasi berbasis ETAP maupun MATLAB Simulink.

Tabel 2. VS, VR, Vdrop diukur tiap 1 jam dari pukul 00:00 hingga 06:00

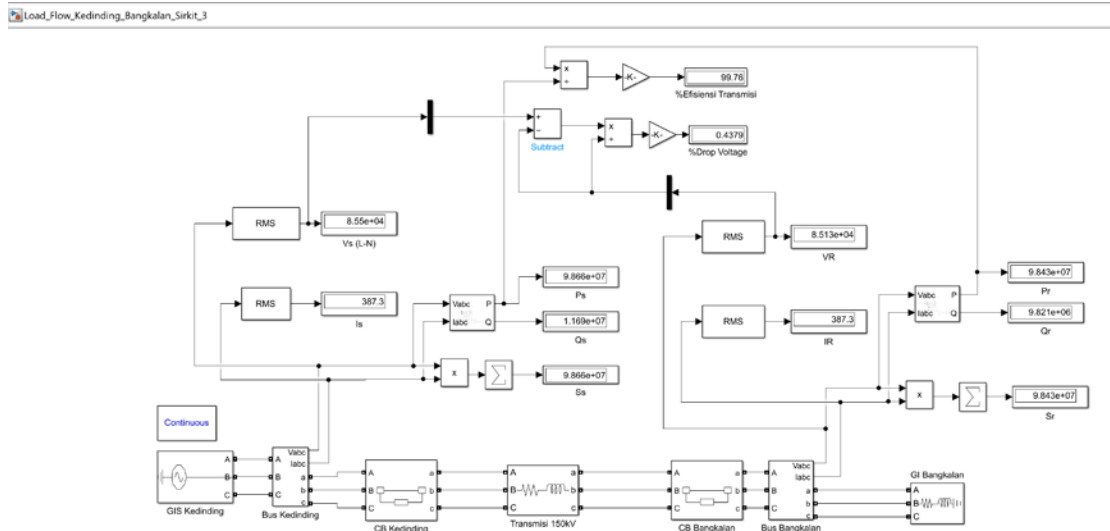
Waktu	VS (kV)	VR (kV)	Vdrop (V)	% Vdrop	PS (MW)	PR (MW)	Efisiensi Saluran (%)
00:00	148.09	147.025	1065	0.72	97.881	95.855	99.6
01:00	148.09	147.025	1065	0.72	97.881	95.855	99.6
02:00	148.09	147.025	1065	0.72	97.881	95.855	99.6
03:00	148.09	147.025	1065	0.72	97.881	95.855	99.6
04:00	148.09	147.025	1065	0.72	97.881	95.855	99.6
05:00	148.09	147.025	1065	0.72	97.881	95.855	99.6
06:00	148.09	147.025	1065	0.72	97.881	95.855	99.6



Gambar 1. Grafik VS, VR, Vdrop



Gambar 2. Parameter saluran dan Beban

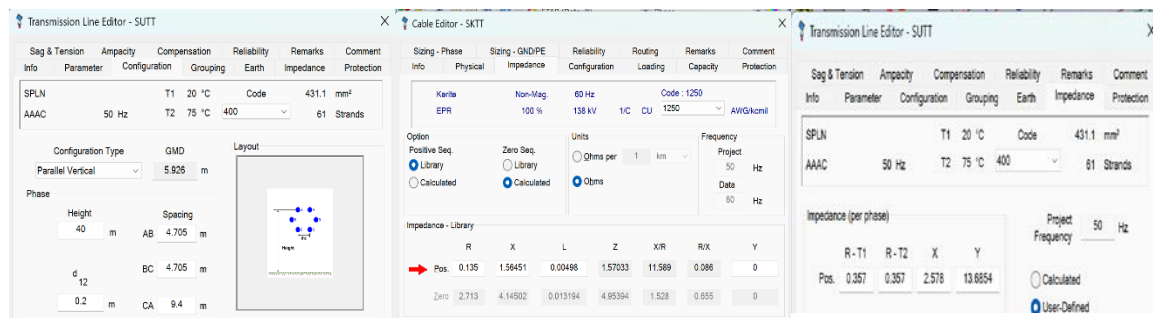


Gambar 3. Model simulink

Tabel 3. Perhitungan Simulasi Simulink

Vs (L-N)	=	$8,44 \times 10^4 \text{ V}$	VR (L-N)	=	$8,417 \times 10^4 \text{ V}$
Vs (L-L)	=	$\sqrt{3} \times 8,44 \times 10^4 \text{ V}$	VR (L-L)	=	$\sqrt{3} \times 8,417 \times 10^4 \text{ V}$
	=	$14,618 \times 10^4 \text{ V}$		=	$14,578 \times 10^4 \text{ V}$
	=	146,18 kV		=	145,78 kV
Iph = IL	=	387,3 A	Iph = IL	=	387,3 A
PS	=	$6,015 \times 10^7 \text{ W}$	PR	=	$6,006 \times 10^7 \text{ W}$
	=	60,15 MW		=	60,06 MW
Vdrop	=	146,18 – 145,78	%Saluran	=	$(PR / PS) \times 100\%$
	=	0,4 kV		=	$(60,06 / 60,15) \times 100\%$
% Vdrop	=	$(0,4 / 145,78) \times 100\%$		=	99,8%
	=	0,27%			

Pada perhitungan ini, tegangan line-to-line (L-L) untuk VS dan VR dihitung menggunakan faktor $3\sqrt{3}$, menghasilkan nilai masing-masing 146.18 kV dan 145.78 kV. Arus fase (I_{ph}) dan arus linier (I_L) sama-sama bernilai 387.3 A. Daya sumber (PS) dan daya rata-rata (PR) dihitung dengan rumus daya tiga fasa, menghasilkan 60.15 MW untuk PS dan 60.06 MW untuk PR. V_{drop}, selisih antara tegangan VS dan VR, dihitung sebesar 0.4 kV, dengan persentase V_{drop} sebesar 0.27%. Efisiensi saluran dihitung sebagai rasio antara daya rata-rata dan daya sumber, yang menghasilkan efisiensi sebesar 99.8%, menunjukkan efisiensi tinggi dalam proses transmisi daya.

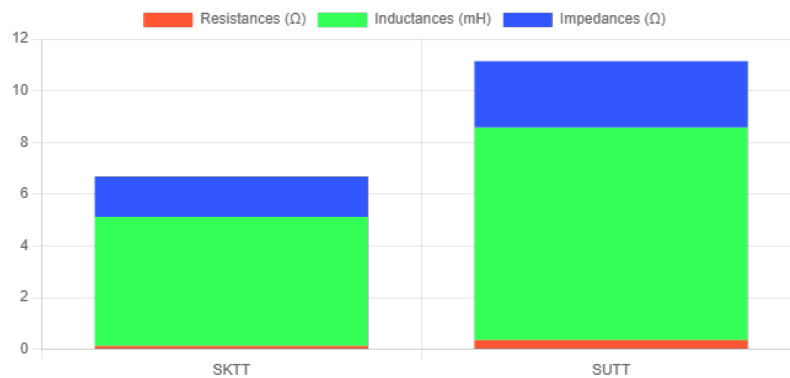


Gambar 4. Parameter Saluran ETAP

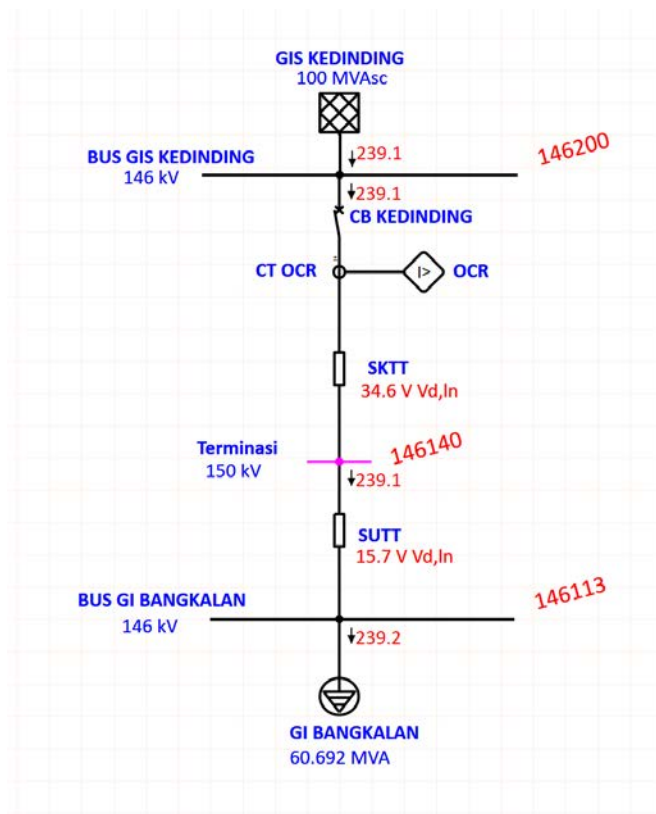
Tabel 4. Parameter saluran

Parameter	Nilai
R-SKTT	0.135 Ω
R-SUTT	0.357 Ω
H-SKTT	4.98 mH
L-SUTT	8.21 mH
XL-SKTT	1.56 Ω
XL-SUTT	2.578 Ω

Tabel yang disajikan menunjukkan beberapa parameter penting dalam sistem transmisi listrik pada dua jenis saluran, yaitu SKTT (Saluran Kabel Tegangan Tinggi) dan SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi). Nilai resistansi untuk SKTT dan SUTT masing-masing adalah 0.135 Ω dan 0.357 Ω, yang menggambarkan hambatan terhadap aliran arus listrik. Selain itu, induktansi pada SKTT dan SUTT berturut-turut adalah 4.98 mH dan 8.21 mH, yang mempengaruhi kemampuan saluran untuk menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Impedansi induktif pada SKTT dan SUTT masing-masing adalah 1.56 Ω dan 2.578 Ω, yang menunjukkan pengaruh induktansi terhadap hambatan arus bolak-balik (AC) pada kedua saluran tersebut. Parameter-parameter ini penting dalam analisis performa dan efisiensi sistem transmisi listrik.



Gambar 5. Parameter Saluran SKTT dan SUTT

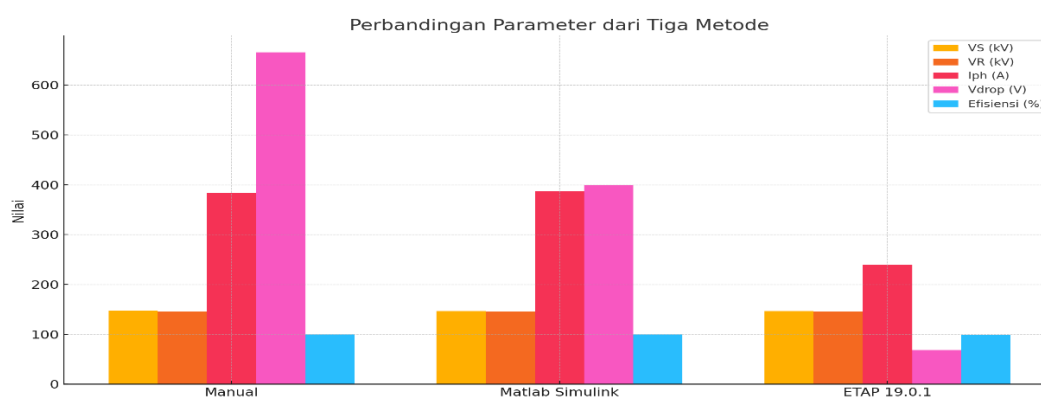


Gambar 6. Hasil simulasi Load Flow ETAP

Diagram satu garis di atas menggambarkan sistem transmisi tenaga listrik 150 kV dari GIS Kedinding menuju GI Bangkalan yang terdiri dari dua jenis saluran, yaitu SKTT (Saluran Kabel Tegangan Tinggi) dan SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi). Daya listrik ditransmisikan dari GIS Kedinding dengan kapasitas hubung singkat 100 MVA, melalui pemutus tenaga (CB) dan dilindungi oleh OCR serta pengukuran arus oleh CT. Saluran SKTT mengalami penurunan tegangan sebesar 34,6 V, dilanjutkan oleh terminasi 150 kV menuju SUTT yang mengalami penurunan tegangan sebesar 15,7 V, sebelum akhirnya mencapai GI Bangkalan dengan beban 60,692 MVA. Penurunan tegangan secara total menunjukkan adanya rugi-rugi saluran, namun masih dalam batas efisiensi transmisi yang baik, sebagaimana tercermin dari efisiensi saluran yang tinggi.

Tabel 5. Perhitungan perbandingan

	Manual	Matlab Simulink	ETAP 19.0.1
VS	148,09 kV	146,18 kV	146,2 kV
VR	145,519 kV	145,78 kV	146,113 kV
Iph	383,5 A	387,3 A	239,1 A / 239,2 A
Vdrop	666V	400V	50,3V / 87V
% Vdrop	0,45%	0,27%	0,034% / 0,059%
Efisiensi Saluran	99,6%	99,8%	99,4%



Gambar 7. Grafik perbandingan manual, matlab dan ETAP

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi simulasi antara ETAP dan MATLAB Simulink dapat memberikan hasil analisis aliran daya yang lebih akurat dan menyeluruh pada sistem transmisi 150 kV Kedinding–Bangkalan. ETAP digunakan untuk menganalisis kondisi steady-state, sedangkan MATLAB Simulink digunakan untuk simulasi dinamis dan respon sistem terhadap perubahan. Hasil simulasi menunjukkan kesesuaian data antara kedua platform, yang menandakan bahwa model sistem telah dibangun dengan baik dan dapat digunakan untuk perencanaan serta pengembangan sistem tenaga listrik. Integrasi ini memberikan keuntungan dalam hal fleksibilitas pemodelan, validasi hasil, dan peningkatan efisiensi analisis sistem tenaga. Dengan pendekatan ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan dua platform secara terpadu memberikan nilai tambah dalam analisis sistem transmisi, baik untuk tujuan akademis maupun praktis di bidang teknik tenaga listrik.

REFERENSI

- [1] Agus Kiswanton, "TRANSFORMASI ENERGI RUMAH TANGGA: OTOMATISASI BEBAN LISTRIK DENGAN IOT," vol. 2, no. 1, pp. 75–81, 2025.
- [2] A. anas, iqbal, "Simulasi Perancangan Jaringan DMVPN dengan GNS3," *Ejournal.Akademitelkom.Ac.Id*, pp. 656–660, [Online]. Available: <http://ejournal.akademitelkom.ac.id/emit/index.php/eMit/article/view/19%0Ahttp://ejournal.akademitelkom.ac.id/emit/index.php/eMit/article/download/19/16>

- [3] R. Bangun, B. Charge, C. Atmega, and M. Sepeda, "Design of Atmega2560 Charge Controller Battery Using Static Bicycle," vol. 7, no. 1, pp. 79–93, 2023.
- [4] R. Bangun, A. Perangkap, S. Di, P. Bertenaga, S. Dan, and M. Blower, "ISSN (Print) : 2621-3540 ISSN (Online) : 2621-5551," pp. 1–5.
- [5] R. Bangun, S. Proteksi, S. B. Motor, P. Waktu, and W. Heater, "Design of Single Phase Motor Current , Voltage , Over Temperature Protection System and Temperature Timing in Water Heater".
- [6] A. Cahyono, E Nur, "Profil otomatisasi distribusi sistem tenaga listrik universitas bhayangkara surabaya," no. 1, pp. 18–24, 2021.
- [7] T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "Fuzzy Control Innovation : Optimizing DC Motor Performance with Solar Energy Matahari," pp. 31–44.
- [8] M. A. Faza and . A Kiswantonono, "RANCANG BANGUN ALAT MONITORING ONLINE TEMPERATUR KLEM PADA," vol. 14, no. 1, 2022.
- [9] Y. Hermanto, "Prototype Monitoring Electricity System 220v of Wind Power Plant (PLTB) based on the Internet of Things," vol. 01, 2021, doi: 10.31763/iota.v1i3.469.
- [10] Y. Hermanto and A. Kiswantonono, "Stability Control of Frequency and Voltage in Wind Power Plant Using Complementary Load with Pid Control, Pwm and Thingspeak Monitor," *JEECS (Journal Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 1159–1168, 2023, doi: 10.54732/jeees.v7i1.211.
- [11] M. Jainuri *et al.*, "ISSN (Print) : 2621-3540 ISSN (Online) : 2621-5551," pp. 674–683.
- [12] A. K, "SIMULASI GANGGUAN RELAY DIFFERENTIAL TRAF0 PADA SALURAN," pp. 548–553.
- [13] A. Kiswantonono, "Design Analysis of Solar Powered Systems Full Flexible 10 WP Capacity," pp. 113–118, 2017.
- [14] A. Kiswantonono, "TRANSFORMASI PEMANTAUAN ENERGI: KONTROL DAYA LISTRIK 3 FASA DENGAN ANTARMUKA GRAFIS PENGGUNA (GUI) SECARA LANGSUNG," vol. 1, no. 2, pp. 76–84, 2023.
- [15] A. Kiswantonono, "REVOLUSI HIJAU : OTOMATISASI BATERAI DALAM," vol. 2, no. 2, pp. 131–139, 2024.
- [16] A. Kiswantonono, "Pengembangan Sistem Energi Terbarukan: Pendekatan Multigenerator Dan Simulasi Etap," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4147.
- [17] A. Kiswantonono, H. Afianti, and B. Purwahyudi, "Proteksi Tegangan Berbasis IoT : Sistem Monitoring Cerdas dan Responsif," pp. 43–48.
- [18] A. Kiswantonono and G. L. Arzadiwa, "Jurnal Pengabdian Siliwangi MEMBUAT LAMPU SEDERHANA SERBAGUNA MENGGUNAKAN LED DAN BARANG," vol. 7, pp. 59–61, 2021.
- [19] A. Kiswantonono, E. N. Cahyono, and Hermawan, "Profile of Automation of Electricity Distribution System Bhayangkara University Surabaya," *JEECS (Journal Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 1071–1080, 2021, doi: 10.54732/jeees.v6i2.201.
- [20] A. Kiswantonono, W. A. Febryasta, P. S. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "TRACKING MAP UNTUK MONITORING GANGGUAN," vol. 13, no. 1, 2025.
- [21] A. Kiswantonono and D. I. Firmansyah, "STUDY ALIRAN DAYA (LOAD FLOW) PADA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK GEDUNG PASCA SARJANA," pp. 133–140, 2020.
- [22] A. Kiswantonono, A. Rozak, F. Syah, and M. A. M. A, "Realizing Energy Independence : Automation Solutions with Visual Studio for PLN and PLTS Integration via ATS Panel Studio untuk Integrasi PLN dan PLTS melalui Panel ATS".
- [23] A. Kiswantonono and Y. A. S, "Pengukuran Energi Listrik dengan Modul Single on Circuit (SOC)," vol. 1, no. 3, 2024.
- [24] A. Kiswantonono, A. F. Saputra, P. S. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "SISTEM MONITORING DAN PROTEKSI MOTOR MINI CONVEYOR TERHADAP ANOMALI ARUS DAN," vol. 13, no. 2, 2025.
- [25] A. Kiswantonono and Y. Hermanto, "PENINGKATAN KINERJA PLTB MELALUI KENDALI," vol. 12, no. 1, pp. 137–147, 2024.
- [26] A. Kiswantonono, A. Irwan, P. S. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "INOVASI ENERGI HIJAU : PIEZOELEKTRIK UNTUK MENGUBAH," vol. 12, no. 3, pp. 1829–1835, 2024.

- [27] A. Kiswantonono, E. W. Pratama, T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "Rancang kendali daya 3 phase real time 1 1,2," pp. 1–6.
- [28] A. Kiswantonono and A. P. Putra, "Analisa Perancangan Sistem Transmisi Pembangkit dengan Power 150 KVA dan proteksi gangguan listrik di penyaluran 10 KVA," pp. 384–387.
- [29] A. Syaefudin, A. Kiswantonono, and B. Purwahyudi, "Sistem Kendali Kinerja Motor 1 Phasa pada WTP Menggunakan ESP8266 Tipe 01," *Sent. Vi* 2021, no. November 2021, pp. 110–119, 2021.
- [30] A. Yuli Hermanto, "Voltage and Frequency Controller for Wind Turbine With PID Controller , PWM and Thingspeak Monitor," *JTECS*, vol. 3:1, 2023.
- [31] D. Sambudo and A. Kiswantonono, "Analisa Konfigurasi Drop Tegangan Dengan Menggunakan Sistem Loop Scheme Pada Etap 12.6. 0," *SinarFe7*, pp. 650–653, 2021, [Online]. Available: <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/download/113/236>
- [32] J. Semeru, "BERTENAGA SURYA SEBAGAI PENINGKATAN," vol. 01, no. 02, pp. 114–120, 2024.
- [33] H. Singkat and B. Capacity, "Analisa Simulasi Gangguan Hubung Singkat Dan Breaking Capacity Circuit Breaker Menggunakan," pp. 619–622.
- [34] O. Suhu, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "Revitalisasi Sistem ATS : Integrasi Smart Relay dan Teknologi," pp. 56–63, 2023.
- [35] A. Kiswantonono and Y. A. Setiawan, "Antena Televisi Sederhana : Memanfaatkan Kaleng Minuman Simple Television Antenna : Utilizing Beverage Cans," vol. 1, no. 2, pp. 101–111, 2024.
- [36] A. K. Maharsih, Inggit Kresna, "Indonesia Energy Transition," no. December 2023, 2024. doi: 10.55981/brin.892.c817.
- [37] S. Nasional, T. Elektro, S. Informasi, and T. Informatika, "Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika," 2021.
- [38] D. B. Prasetyo and A. Kiswantonono, "SINKRONISASI DAN MONITORING GENERATOR DENGAN PENGENDALI BERBASIS ARDUINO MEGA 2560," vol. 3, no. 2.
- [39] N. Prastyana, "M onitoring Arus dan Tegangan dari 9 Unit Pembangkit Di Indonesia Ke Kantor Pusat PLN Menggunakan Etab," pp. 654–655.
- [40] P. Produk, B. E. L. Rumah, and S. Dan, "Jurnal Pengabdian Siliwangi Jurnal Pengabdian Siliwangi Volume 9 , Nomor 1 , Tahun 2023 P-ISSN 2477-6629 E-ISSN 2615-4773," vol. 9, pp. 20–22, 2023.
- [41] A. R. B. S and A. Kiswantonono, "KENDALI BERBASIS WEB PADA ANOMALI NEUTRAL GROUND RESISTOR (NGR)," vol. 12, no. 3, pp. 3475–3481, 2024.