

EFISIENSI DAYA AKTIF PADA SALURAN TRANSMISI TUNGGAL DAN PARALEL.

Sarma Thaha¹⁾, Ahmad Rizal Sultan²⁾, Ahmad Gaffar³⁾
^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the efficiency (active power loss) of two transmission lines connected in a single line and parallel line at different levels of a purely active end user load. Both configurations are tested by using a transmission simulator at the laboratory and digital simulation – digilent 15.1.7. Transmission parameter values such as resistive, inductive, and capacitive are scaled using impedance scale factor (ISF). The transmission is connected with five steps of resistive loads, the capacity of each load is 100 W. At sending point and receiving point of the transmission line are measured active power which would be compared for analysis. Based on simulation results it is obtained that the active power loss of the parallel transmission line is less than the single transmission line.

Keywords: *single transmission line, parallel transmission line, simulator, digital simulation, active power loss.*

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki efisiensi (kehilangan daya aktif) untuk dua saluran transmisi yang terhubung dalam satu saluran dan saluran paralel pada tingkat yang berbeda dari beban pengguna akhir yang murni aktif. Kedua konfigurasi diuji dengan menggunakan simulator transmisi di laboratorium dan simulasi digital – digilent 15.1.7. Nilai parameter transmisi seperti resistif, induktif dan kapasitif diskalakan menggunakan impedance scale factor (ISF). Transmisi dihubungkan dengan beban resistif lima langkah, kapasitas masing-masing beban adalah 100 W. Pada titik pengirim dan titik penerima saluran transmisi diukur daya aktif yang akan dibandingkan untuk dianalisis. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh rugi daya aktif saluran transmisi paralel lebih kecil dari saluran transmisi tunggal.

Kata kunci: *saluran transmisi tunggal, saluran transmisi paralel, simulator, simulasi digital, rugi daya aktif.*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik umumnya diproduksi di pusat pembangkit dan ditransfer melalui saluran transmisi tegangan tinggi. Salah satu jenis saluran transmisi adalah saluran transmisi udara. Kemampuan aliran daya suatu saluran transmisi udara dipengaruhi oleh panjang, desain awal, lingkungan dan faktor lainnya. Batasan aliran daya maksimum suatu saluran transmisi dapat juga dibatasi oleh karena aliran daya sistem transmisi merupakan fungsi dari keseluruhan topologi sistem (saluran transmisi, transformator, pembangkit, kompensasi seri dan shunt, dan beban). Batasan sistem adalah fungsi reaktansi saluran transmisi dalam kaitannya terhadap keseluruhan sistem daya listrik [1].

Konfigurasi saluran transmisi udara dapat dijumpai dalam saluran tunggal yang terdiri dari tiga fase R, S dan T yang diatur dengan jarak tertentu pada tower transmisi. Namun untuk meningkatkan transfer energi listrik maka dapat digunakan saluran transmisi sirkuit ganda atau paralel (*parallel transmission line*). Saluran transmisi paralel memiliki dua jalur saluran transmisi yang berbeda, masing-masing terdiri dari tiga fase R, S dan T. Saluran ganda juga dipilih karena alasan keandalan namun juga menghasilkan induktansi mutual antar konduktor dan mempengaruhi besar impedansi saluran serta rugi daya aktif[2][3][4].

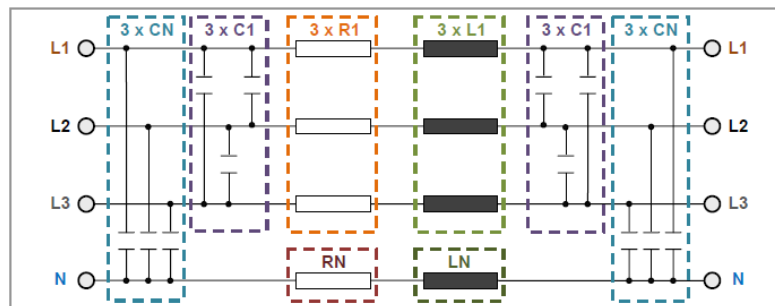
Karakteristik saluran transmisi dicirikan oleh parameter resistif (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C). Parameter R menyebabkan rugi daya aktif (Watt) dan jatuh tegangan pada sisi penerima atau sisi beban dari transmisi. Demikian pula parameter induktansi (L) juga dapat menyebabkan jatuh tegangan pada sisi penerima dari saluran transmisi [5][6].

Makalah ini mengkaji dan membandingkan besar rugi daya transmisi antara saluran transmisi udara tunggal (*single transmission line*) dan saluran transmisi paralel (*parallel transmission line*) dengan menggunakan simulator transmisi ex Terco dan simulasi digilent versi 15.1.7. Makalah ini disusun sebagai berikut: pada bagian 1 memberikan gambaran singkat tentang simulator transmisi dan pemodelan transmisi dengan menggunakan aplikasi digilent 15.1.7. Bagian 3 menjelaskan hasil simulasi dari kedua pemodelan pada bagian 2. Bagian 4 menyimpulkan hasil penelitian.

2. METODE PENELITIAN

A. Simulator transmisi

Dalam penelitian ini, tegangan transmisi yang dimodelkan adalah tegangan transmisi 230 kV dengan satu saluran dan saluran ganda. Pada kenyataannya parameter transmisi R, L dan C yang disebutkan pada bagian pendahuluan didistribusikan secara merata di sepanjang saluran transmisi. Namun hal ini akan sulit untuk dimodelkan dalam bentuk simulator di lingkungan laboratorium, oleh karena itu dimodelkan dalam bentuk pi-link. Pi-link adalah metode yang umum digunakan untuk memodelkan saluran dengan memusatkan setengah kapasitansi saluran di setiap ujung saluran (3 x C_N bersama dengan 3 x C₁). Parameter resistif dan induktif ditempatkan seri di tengah saluran (3 x R₁, 3 x L₁ masing-masing RN dan L_N). Model pi-link tersebut ditampilkan seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Model transmisi Pi-Link

Besar total impedansi saluran diperoleh dengan membagi tegangan input dan besar arus hubung singkat, seperti pada persamaan[7]:

$$Z_{TOT} = \frac{V}{I_{sc}} \quad (1)$$

Nilai ZTOT pada persamaan (1) di atas terdiri atas nilai resistif dan reaktansi. Jika nilai resistif telah diperoleh maka nilai reaktansi saluran diperoleh dengan menggunakan persamaan[7]:

$$X_{line} = \sqrt{(Z_{TOT})^2 - (R_{TOT})^2} \quad (2)$$

Nilai dari persamaan 1, 2 dan 3 di atas adalah nilai parameter *real* atau sebenarnya yang dikonversi menjadi nilai pemodelan simulator. Adapun Nilai impedansi nyata (sebenarnya) diskalakan dengan persamaan impedance scale factor (ISF)[8]:

$$ISF = \frac{\text{Faktor skala tegangan}}{\text{Faktor Skala Arus}} = \frac{\text{Tegangan transmisi n : tegangan pemodelan}}{\text{Arus nominal transmisi sebenarnya : arus pemodelan}} \quad (3)$$

sehingga diperoleh data pemodelan simulator seperti dalam tabel 1.

Untuk simulasi transmisi tunggal hanya menggunakan salah satu model transmisi yakni Overhead (OH) line 1 atau OH line 2 seperti pada gambar 2. Gambar 2 memperlihatkan saluran tunggal yang terdiri dari sumber listrik, power energi meter sebelum dan setelah saluran transmisi dan beban resistif. Power energi di sini berfungsi mengukur tegangan sebelum dan setelah transmisi, besar arus beban, dan daya dikirim dari sumber serta daya yang diterima di sisi beban.

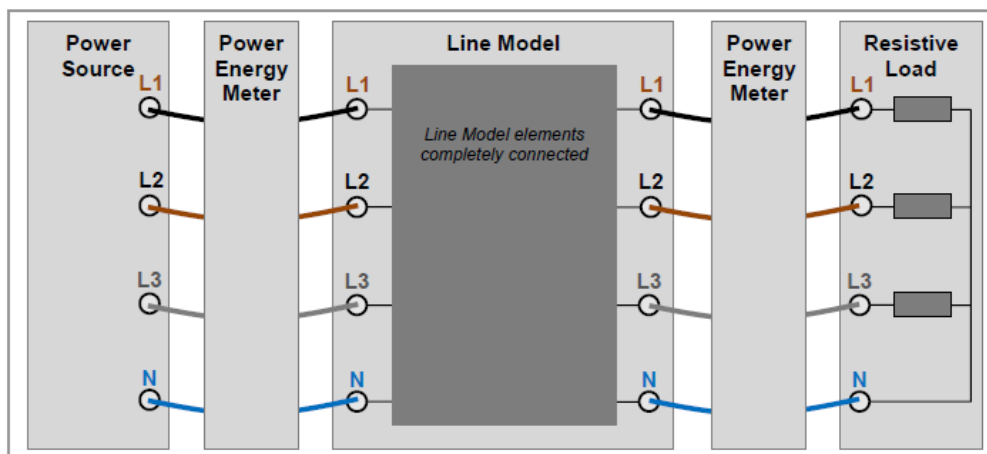
Sedangkan untuk simulasi saluran transmisi parallel maka OH line 1 dan OH line 2 dihubungkan secara parallel seperti pada gambar 3. Selanjutnya simulator transmisi ini akan diberi tegangan tiga phase dari sisi sumber dan dilakukan pembebanan resistif sebanyak lima tahap. Pembebanan dimulai dari 100 W (beban resistif) dan dinaikkan 100W secara bertahap sampai mencapai 500 W.

Nilai impedansi dari transmisi selanjutnya akan mempengaruhi besar *power losses* (rugi daya) dalam penelitian ini hanya memperhitungkan rugi daya aktif (Watt) pada jaringan transmisi yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

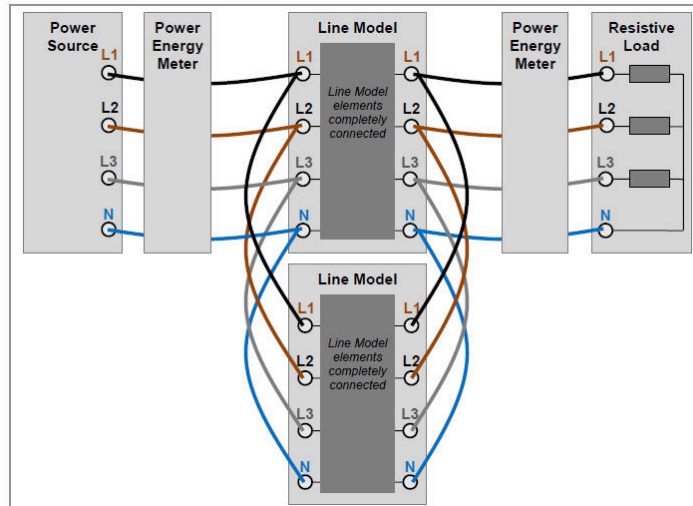
$$P_{losses} = R_{tot} I_{line}^2 \quad (4)$$

Tabel 1. Nilai Parameter simulator transmisi

Model Saluran		OH LINE 1	OH LINE 2
Tegangan [V]	REAL	230 kV	230 kV
	MODEL	400 V	400 V
Arus I [A]	REAL	276 A	276 A
	MODEL	2A	2A
Kapasitas S [VA]	REAL	110 MVA	110 MVA
	MODEL	1386 VA	1386 VA
Panjang l [km]	REAL	100 km	100 km
	----	----	----
Ukuran penghantar [mm ²]	REAL	185 mm ²	185 mm ²
	----	----	----
Tahanan R [Ω]	REAL	9.19 Ω	9.19 Ω
	MODEL	2.2 Ω	2.2 Ω
Induktansi L [H]	REAL	106 mH	106 mH
	MODEL	25 mH	25 mH
Kapasitansi antar saluran C+ [F]	REAL	950 nF	950 nF
	MODEL	4 μF	4 μF
Kapasitansi ke tanah C0 [F]	REAL	690 nF	690 nF
	MODEL	2.5 μF	2.5 μF



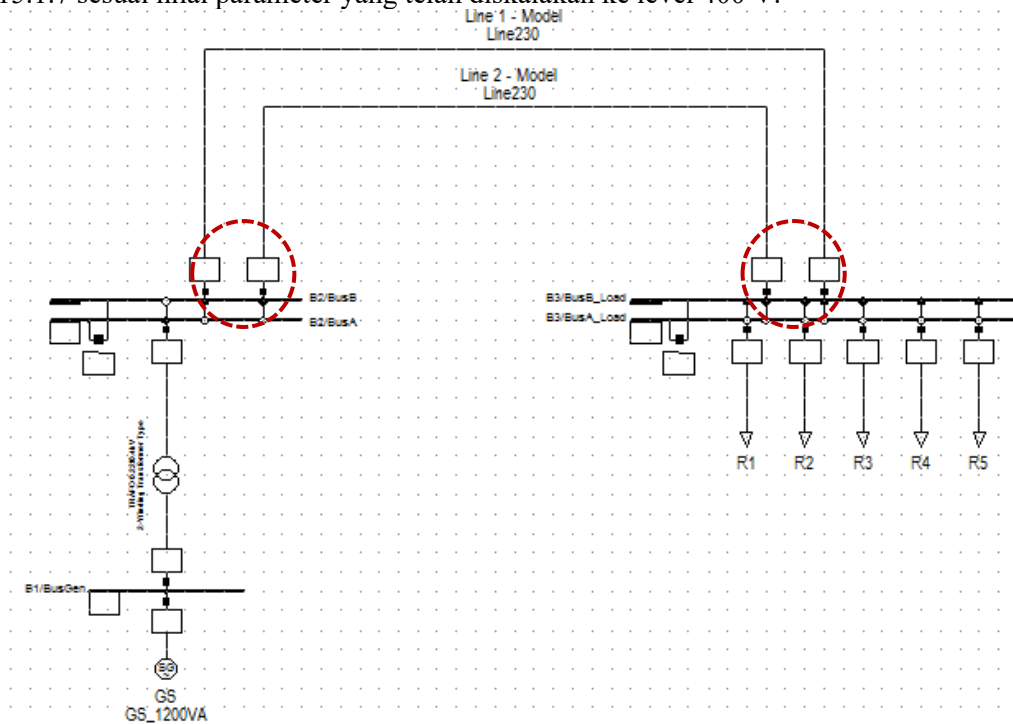
Gambar 2. Diagram rangkaian simulator untuk saluran tunggal



Gambar 3. Diagram rangkaian percobaan simulator untuk saluran transmisi yang di paralel

B. Model Simulasi

Dalam model simulasi, komponen dan nilai parameter yang digunakan di simulator dimodelkan dalam digsilent 15.1.7 sesuai nilai parameter yang telah diskalakan ke level 400 V.



Gambar 4. Single line diagram simulasi

Untuk simulasi *single line transmission* ataupun *double line transmission* dilakukan dengan mengatur close open *circuit breaker* (CB) pada lingkaran merah di sisi sumber dan beban.

Seperti halnya pada pengambilan data di simulator, maka pada simulasi digsilent sistem saluran transmisi diberikan pembebanan beban resistif, sejumlah 5 tahapan. Tahap pertama dimulai dengan beban 100 Watt (W) selanjutnya dinaikkan 100 W setiap tahapnya hingga mencapai 500 W.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulator transmisi

Dengan membuat tegangan keluaran di sisi bus pengirim sebesar 230 V dan memberikan beban resistif (R) secara bertahap 5 x 100 Watt maka diperoleh data di sisi pengirim dan sisi penerima seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengetesan simulator transmisi.

Tipe Saluran/ line	Beban (Watt)	Titik pengirim			Titik penerima			ΔP ($P_1 - P_2$)
		Tegangan Phase-phase/ V_{LL} (V)	Tegangan Phase-neutral/ V_{LN} (V)	Daya P (Watt)	Tegangan Phase-phase/ V_{LL} (V)	Tegangan Phase-neutral/ V_{LN} (V)	Daya P (Watt)	
Single Line (L1/ L2)	160	398,37	230,00	100	406,34	234,60	100	0
	320	398,37	230,00	202	402,36	232,30	200	2
	480	398,37	230,00	304	398,37	230,00	300	4
	640	398,37	230,00	407	394,39	227,70	400	7
	800	398,37	230,00	511	390,40	225,40	500	11
Paralel Line (L1 + L2)	160	398,37	230,00	100	402,36	232,30	100	0
	320	398,37	230,00	201	400,36	231,15	200	1
	480	398,37	230,00	302	398,37	230,00	300	2
	640	398,37	230,00	404	396,38	228,85	400	4
	800	398,37	230,00	506	394,39	227,70	500	6

Berdasarkan tabel 2 di atas diperoleh bahwa rugi daya aktif pada *parallel line* lebih kecil dibandingkan *single line* untuk setiap beban yang sama.

B. Hasil Simulasi digsilent 15.1.7

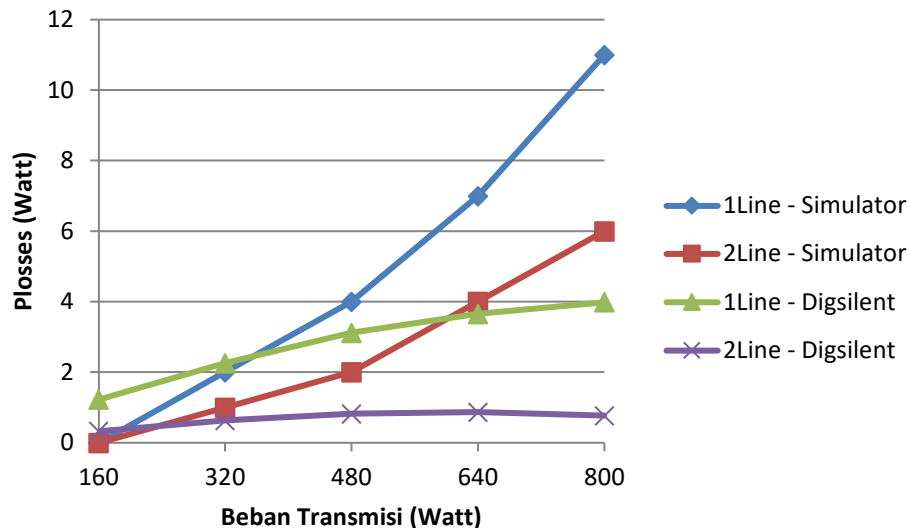
Dengan memberikan tahapan dan besar beban yang sama maka hasil simulasi digsilent 15.1.7 untuk *single line* dan *parallel line* ditampilkan dalam tabel 4. Sama halnya dengan hasil pembebanan transmisi dengan menggunakan simulator, hasil simulasi digsilent juga menunjukkan rugi daya transmisi pada *parallel line* lebih kecil dibandingkan pada kondisi *single line*.

Tabel 3. Hasil pengetesan simulasi digsilent 15.1.7

Tipe Saluran/ line	Beban (Watt)	Titik pengirim			Titik penerima			ΔP ($P_1 - P_2$)
		Tegangan Phase-phase/ V_{LL1} (V)	Tegangan Phase-neutral/ V_{LN1} (V)	Daya P_1 (Watt)	Tegangan Phase-phase/ V_{LL2} (V)	Tegangan Phase-neutral/ V_{LN2} (V)	Daya P_2 (Watt)	
Single Line (L1/ L2)	160	395.04	228.08	101.12	401.53	231.82	99.89	1.23
	320	395.02	228.06	202.16	400.06	230.97	199.9	2.26
	480	395.02	228.06	303.21	399.70	230.77	300.09	3.12
	640	395.01	228.06	404.18	398.84	230.27	400.52	3.66
	800	395.01	228.06	505.22	398.02	229.80	501.23	3.99
Paralel Line (L1 + L2)	160	404.03	233.27	99.95	411.33	237.48	99.62	0.33
	320	404.02	233.26	199.95	410.86	237.21	199.32	0.63
	480	404.01	233.26	299.95	410.40	236.94	299.13	0.82
	640	404.00	233.25	399.95	409.96	236.69	399.08	0.87
	800	404.00	233.25	499.95	409.53	236.44	499.18	0.77

C. Perbandingan Hasil Pengukuran Simulator dan simulasi digsilent

Seiring pertambahan beban maka arus yang mengalir pada saluran transmisi juga akan meningkat sehingga rugi daya (P_{losses}) bertambah besar baik pada kondisi konfigurasi tunggal maupun ganda pada simulator dan hasil simulasi digsilent. Namun jika penyaluran beban dari sumber ke beban dibuat dengan menggunakan dua transmisi (*parallel/ ganda*) maka rugi daya aktif meningkat seiring pertambahan beban tetapi rugi daya aktif lebih kecil dibandingkan menggunakan satu saluran transmisi saja. Perbandingan rugi daya untuk saluran tunggal dan ganda seperti terlihat pada gambar 5 di bawah.



Gambar 5. Perbandingan rugi daya aktif pada saluran tunggal (1Line) dengan saluran ganda (2Line)

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi pembebanan transmisi dengan konfigurasi *single line* dan *parallel line* dapat dikatakan bahwa rugi daya transmisi pada konfigurasi *parallel line* lebih efektif dibandingkan *single line* dan rugi daya transmisi akan meningkat seiring dengan penambahan beban dari saluran transmisi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian dan penulisan makalah ini: keluarga, P3M PNUP, teman-teman sejawat di Teknik Listrik PNUP dan di laboratorium power system Teknik Listrik PNUP.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] EPRI, "Increasing Power Flow in Transmission and Substation Circuits," *Electr. Power Res. Inst. EPRI NP*, vol. 3, no. 3, 2006.
- [2] D. Lauria, G. Mazzanti, and S. Quaia, "The Loadability of Overhead Transmission Lines — Part I: Analysis of Single Circuits," vol. 29, no. 1, pp. 29–37, 2014.
- [3] G. K. Papagiannis, D. G. Triantafyllidis, and D. P. Labridis, "A one-step finite element formulation for the modeling of single and double-circuit transmission lines," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 15, no. 1, pp. 33–38, 2000.
- [4] J. F. Manirakiza and A. O. Ekwue, "Technical Losses Reduction Strategies in a Transmission Network," *IEEE AFRICON Conf.*, vol. 2019-Sept, pp. 1–5, 2019.
- [5] A. Arief and M. B. Nappu, "Voltage drop simulation at Southern Sulawesi power system considering composite load model," *Proc. - 2016 3rd Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2016*, pp. 169–172, 2017.
- [6] D. Khan, M. Rafiq, S. F. Rafique, I. Khan, and F. Abbas, "Comparison of transmission losses and voltage drops of GIL(Gas Insulated transmission line) and overhead transmission lines," *16th Int. Power Electron. Motion Control Conf. Expo. PEMC 2014*, pp. 1151–1153, 2014.
- [7] E. Manual, "PST 2200 Power Systems and Transmission Simulator," 2014.
- [8] G. Strbac, "Transmission and Distribution Lines," 2010.