

# SIMULASI PERBANDINGAN EFISIENSI *HVAC* DAN *HVDC* PADA SALURAN TRANSMISI TENAGA LISTRIK

<sup>1</sup>Muhamad Abdul Aziz

<sup>2</sup>Erma Triawati Ch

<sup>1</sup> Universitas Gunadarma, muh.abdulaziz07@gmail.com

<sup>2</sup> Universitas Gunadarma, ermach@staff.gunadarma.ac.id

## ABSTRAK

*Pada saluran transmisi tenaga listrik, tegangan tinggi arus bolak balik atau High Voltage Alternating Current (HVAC) merupakan transmisi yang umum digunakan. Pada saluran transmisi tenaga listrik pada kenyataannya juga menggunakan High Voltage Direct Current (HVDC) atau tegangan tinggi arus searah dikarenakan efisiensinya yang lebih baik (Kim et al., 2009). Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan bagaimana perbandingan efisiensi sistem transmisi HVDC dibandingkan dengan sistem transmisi HVAC pada saluran transmisi tenaga listrik jarak jauh. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan MatLab Simulink. Variabel independen adalah tegangan sumber, daya beban, dan hambatan kabel per kilometer. Variabel dependen adalah panjang saluran transmisi (dari 100 km hingga 1000 km). Hasil simulasi menunjukkan bahwa transmisi HVDC memiliki efisiensi yang lebih baik dari pada HVAC dan keuntungan transmisi HVDC semakin meningkat seiring meningkatnya jarak saluran transmisi.*

*Kata Kunci: efisiensi, HVAC, HVDC, saluran, transmisi*

## PENDAHULUAN

Saluran Transmisi pada dasarnya merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan daya listrik dari pembangkit listrik sampai pada saluran distribusi, hingga daya listrik dapat sampai pada konsumen pengguna listrik. Pada sistem tenaga listrik, jarak antara pembangkit listrik dengan beban yang cukup jauh akan menimbulkan adanya penurunan kualitas tegangan, yang akibatnya adalah saluran yang mengalami tegangan turun. Semakin jauh jarak transmisi, maka akan semakin besar pula kerugian yang ditimbulkan. Salah satu cara untuk mengurangi penyebab kerugian ini adalah dengan menaikkan tegangan listrik yang disalurkan. Semakin tinggi tegangan yang disalurkan, maka semakin kecil arus yang dibutuhkan dan akan semakin kecil pula kerugian listrik yang ditimbulkan. Selain itu semakin kecil pula penampang kabel listrik yang

dibutuhkan, sehingga dapat mengurangi biaya pembangunan untuk saluran transmisi tersebut. Hal itulah yang menyebabkan pada transmisi listrik umumnya menggunakan *High Voltage Alternating Current (HVAC)*. Keadaan transformator yang memungkinkan perubahan tegangan listrik AC dari rendah ke tinggi atau sebaliknya menjadi sangat mudah.

Namun seiring perkembangan jaman, kebutuhan energi listrik semakin meningkat, sedangkan sumber pembangkit listrik semakin terbatas, sehingga dibangunlah pembangkit listrik yang dapat diperbarui. Beberapa sumber tenaga listrik yang dapat diperbarui terdapat pada lokasi yang jauh dari konsumen. Seperti pada pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai, yang memiliki medan yang sulit untuk kabel transmisi dipasangkan, berakibat akan semakin sulit transmisi dilakukan. Oleh karena itu, dikembangkan saluran transmisi dengan

menggunakan arus searah, *High Voltage Direct Current (HVDC)*, yang dapat mengatasi permasalahan tersebut (Osmanbasic, 2020). Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan bagaimana perbandingan efisiensi sistem transmisi *HVDC* jika dibandingkan dengan sistem transmisi *HVAC* pada saluran transmisi jarak jauh.

Pada penelitian yang mengevaluasi kerugian transmisi *HVAC* dan *HVDC* pada pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai (Negra et al., 2006), dikemukakan bahwa pada pembangkit tersebut, penggunaan saluran transmisi *HVDC* dapat lebih efisien dibandingkan dengan *HVAC*. Data penelitian menyebutkan transmisi *HVDC* memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan *HVAC*. Keunggulan efisiensi *HVDC* ini semakin berkembang dengan meningkatnya jarak transmisi yang digunakan. Data tersebut juga didukung oleh jurnal (Kalair et al., 2016). Pada jurnal tersebut yang membahas tentang studi komparatif untuk sistem transmisi *HVDC* dan *HVAC*, menyatakan bahwa sekalipun *HVDC* memiliki biaya terminal yang lebih mahal dari pada *HVAC*, namun karena sistem *HVDC* memiliki efisiensi yang lebih baik dan biaya transmisi yang lebih rendah, maka pada transmisi jarak jauh transmisi *HVDC* menjadi lebih murah dibandingkan dengan *HVAC*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 .

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini bertujuan untuk melihat simulasi perbandingan efisiensi *HVAC* dan *HVDC*. Simulasi dirancang dengan menggunakan MatLab Simulink. Simulasi dibagi menjadi dua bagian yaitu simulasi *HVAC* dan simulasi *HVDC*. Hasil kedua simulasi tersebut kemudian dibandingkan. Untuk merancang transmisi *HVAC*, digunakan blok sumber tegangan tiga

fasa pada bagian pengirim yang disambungkan dengan kabel transmisi dan beban pada bagian penerima, seperti pada gambar 2.

Pengukuran dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus pada kedua sisi kabel transmisi yaitu pada sisi pengirim dan sisi penerima, dan menggunakan pengukuran tegangan-arus tiga fasa, seperti pada gambar 3. Hasil pengukuran tersebut ditampilkan dan diolah untuk mendapatkan besar daya pada kedua sisi. Hasil perhitungan daya dari sisi pengirim dan sisi penerima kemudian dibandingkan untuk dapat melihat efisiensi dari sistem transmisi *HVAC*, seperti pada gambar 4.

Untuk merancang sistem transmisi *HVDC*, digunakan blok sumber tegangan DC pada sisi penerima yang dihubungkan dengan hambatan yang digunakan sebagai parameter kabel transmisi dan beban, seperti pada gambar 5.

Pengukuran dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus pada kedua sisi kabel transmisi yaitu pada sisi pengirim dan sisi penerima, dengan menggunakan pengukuran tegangan dan pengukuran arus, seperti pada gambar 6.

Hasil pengukuran tersebut ditampilkan dan diolah untuk mendapatkan besar daya pada kedua sisi. Hasil perhitungan daya dari sisi pengirim dan sisi penerima kemudian dibandingkan untuk dapat melihat efisiensi dari sistem transmisi *HVDC*, seperti pada gambar 7.

Penyesuaian parameter transmisi *HVAC* dengan transmisi *HVDC* dapat dimanfaatkan untuk melihat nilai efisiensi keduanya untuk dibandingkan, seperti yang ditunjukkan pada blok perbandingan *HVAC* dan *HVDC* pada gambar 8.

Waktu simulasi yang digunakan adalah 0.2 detik dengan menggunakan waktu sampling  $5 \times 10^{-6}$  detik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan pada pengukuran AC seperti pada gambar 9 dan didapatkan keluaran daya dari sisi pengirim dan sisi penerima yang berbeda. Simulasi juga dilakukan pada pengukuran DC seperti pada gambar 10 dan didapatkan keluaran daya dari sisi pengirim dan sisi penerima yang berbeda. Hasil kedua simulasi tersebut dibandingkan dan didapatkan keluaran untuk menentukan nilai perbedaan efisiensi sistem transmisi HVAC dan sistem transmisi HVDC, seperti pada gambar 11.

Pada simulasi transmisi AC, digunakan sumber tegangan tiga fasa sebagai nilai tegangan yang dikirim dari sisi pembangkit yang telah melalui trafo *set-up*, seperti pada gambar 12. Pada parameter blok diatur supaya nilai tegangannya adalah 250 kV dengan frekuensi yang digunakan adalah 60 Hz dan digunakan untuk menyuplai beban 250 MW. Hasil keluaran dari sumber ini kemudian diukur dengan menggunakan pengukuran tegangan dan arus tiga fasa yang kemudian menyalurkan hasil pengukuran pada bagian pengukuran HVAC dengan menggunakan *signal routing* pada *library* Simulink. Hasil pengukuran ini diberi nama variable Vs untuk tegangan dan Is untuk arus. Nilai Vs dan Is ini kemudian digunakan oleh blok pengukuran daya untuk mendapatkan nilai daya yang berasal dari sumber dan ditampilkan dilayar *scope*. Besarnya daya dapat dihitung dengan rumus 1 (Meah dan Ula, 2007).

$$p(t) = V_{rms} \times I_{rms} \cos 2\pi ft \quad \dots\dots 1)$$

Untuk pengkabelan, digunakan hambatan seri RLC yang nilai hambatannya diatur pada parameter blok dengan menentukan nilai hambatan per kilometer dan kemudian mengkalikan dengan panjang yang akan dianalisis. Tegangan dan arusnya

kemudian diukur menggunakan cara yang sama seperti pada pengukuran daya sumber dengan Vp sebagai tegangan pada sisi penerima dan Ip sebagai arus. Hasil dari sisi penerima kemudian dikomparasikan dengan hasil dari sisi pengirim untuk melihat efisiensi dari transmisi. Perhitungan efisiensi dapat dihitung dengan rumus 2 (Meah dan Ula, 2007).

$$\eta_{ac} = \frac{P_{beban}}{P_{sumber}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 2)$$

Pada simulasi transmisi DC, digunakan sumber tegangan DC sebagai nilai tegangan yang dikirim dari sisi pembangkit yang telah melalui terminal HVDC. Pada parameter blok diatur supaya nilai tegangannya adalah 250 kV dan digunakan untuk menyuplai beban 250 MW. Pada sumber DC disambung dengan hambatan untuk memungkinkan pengukuran pada keluaran sumber DC, nilai hambatan tersebut dapat diabaikan, seperti pada gambar 13.

Hasil keluaran dari sumber ini kemudian dihubungkan dengan hambatan yang digunakan untuk mensimulasikan kabel yang digunakan untuk transmisi. Digunakan hambatan seri RLC yang nilai hambatannya diatur pada parameter blok dengan menentukan nilai hambatan per kilometer dan kemudian mengkalikan dengan panjang yang akan dianalisis, seperti pada gambar 14. Kemudian pada kedua ujung kabel diukur dengan menggunakan pengukuran tegangan dan arus yang kemudian menyalurkan hasil pengukuran pada bagian Pengukuran HVDC dengan menggunakan *signal routing* pada *library* Simulink. Hasil pengukuran ini diberi nama variable Va untuk tegangan dan Ia untuk Arus pada bagian sumber dan Vb untuk tegangan dan Ib untuk arus pada bagian penerima. Nilai tegangan dan arus tersebut kemudian digunakan oleh blok pengukuran daya

untuk mendapatkan nilai daya yang berasal dari sumber dan ditampilkan dilayar *scope*.

Besarnya daya dapat dihitung dengan rumus 3 (Meah dan Ula, 2007).

$$P = V \times I \dots\dots\dots 3)$$

Hasil dari sisi penerima kemudian dikomparasikan dengan hasil dari sisi pengirim untuk melihat efisiensi dari transmisi, seperti pada gambar 15. Perhitungan efisiensi dapat dihitung dengan rumus 4 (Meah dan Ula, 2007).

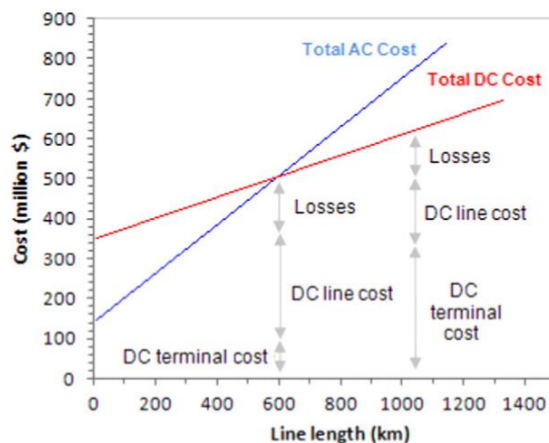
$$\eta_{dc} = \frac{P_{beban}}{P_{sumber}} \times 100\% \dots\dots\dots 4)$$

Nilai efisiensi dari transmisi AC dan DC dengan jarak yang sama

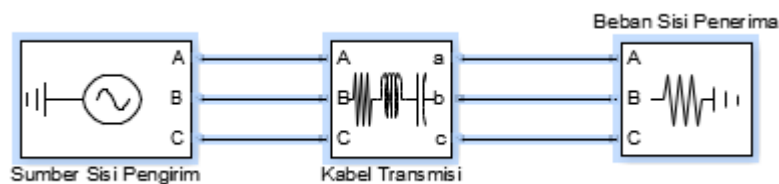
kemudian dikomparasikan untuk membandingkan efisiensi kedua sistem, seperti pada gambar 16.

Dari simulasi ini, dilihat hasil dari data untuk jarak transmisi dari 100 km hingga 1000 km dengan peningkatan 100 km untuk setiap simulasi yang menghasilkan hasil seperti pada tabel 1.

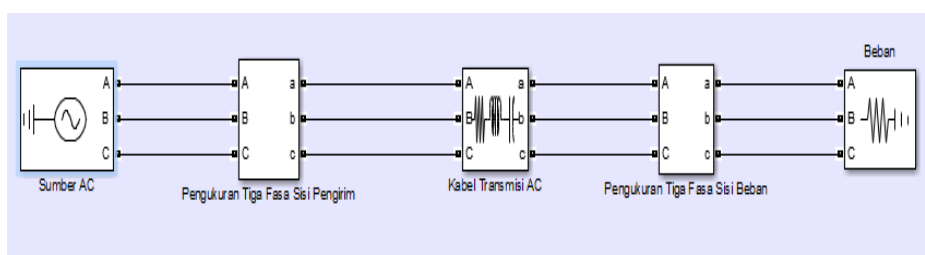
Tabel 1 menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya jarak transmisi, rugi AC meningkat lebih besar dari pada rugi pada transmisi DC, digambarkan pada grafik gambar 17. Hal ini sesuai dengan apa yang diuraikan sebelumnya pada landasan teori.



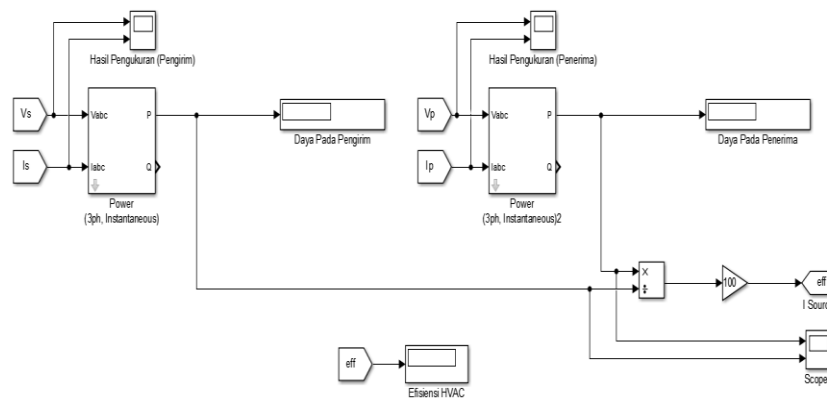
**Gambar 1. Perbandingan Total Biaya Transmisi HVAC Dan HVDC (Sumber : Kalair et al., 2016)**



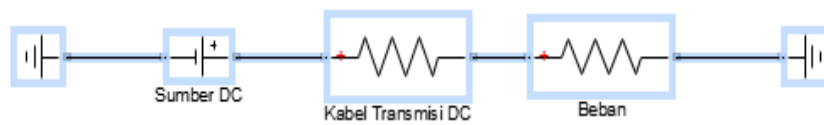
**Gambar 2. Rancangan Simulasi HVAC**



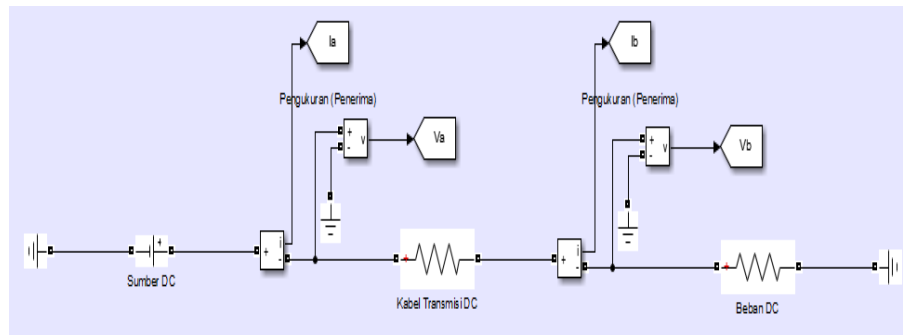
**Gambar 3. Rancangan Simulasi HVAC Dengan Pengukuran**



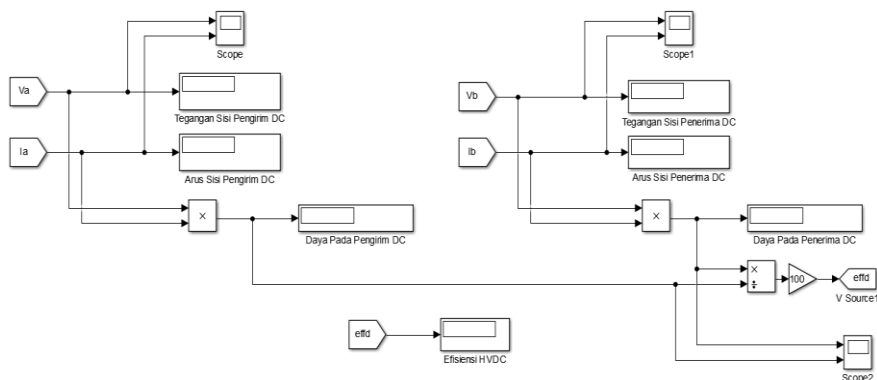
**Gambar 4. Rancangan Perhitungan Simulasi HVAC**



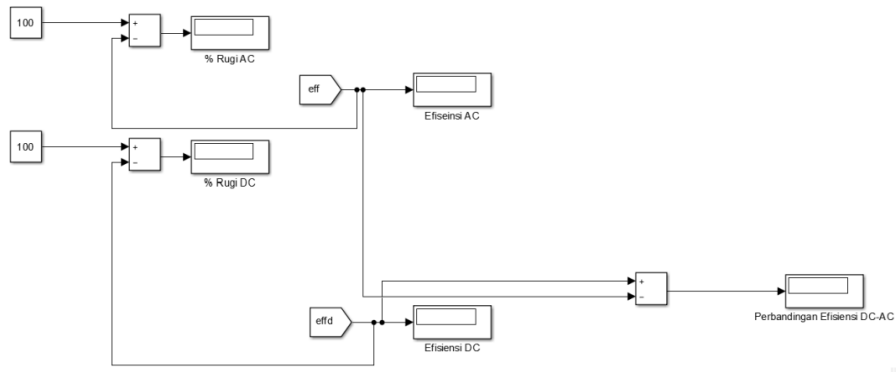
**Gambar 5. Rancangan Simulasi HVDC**



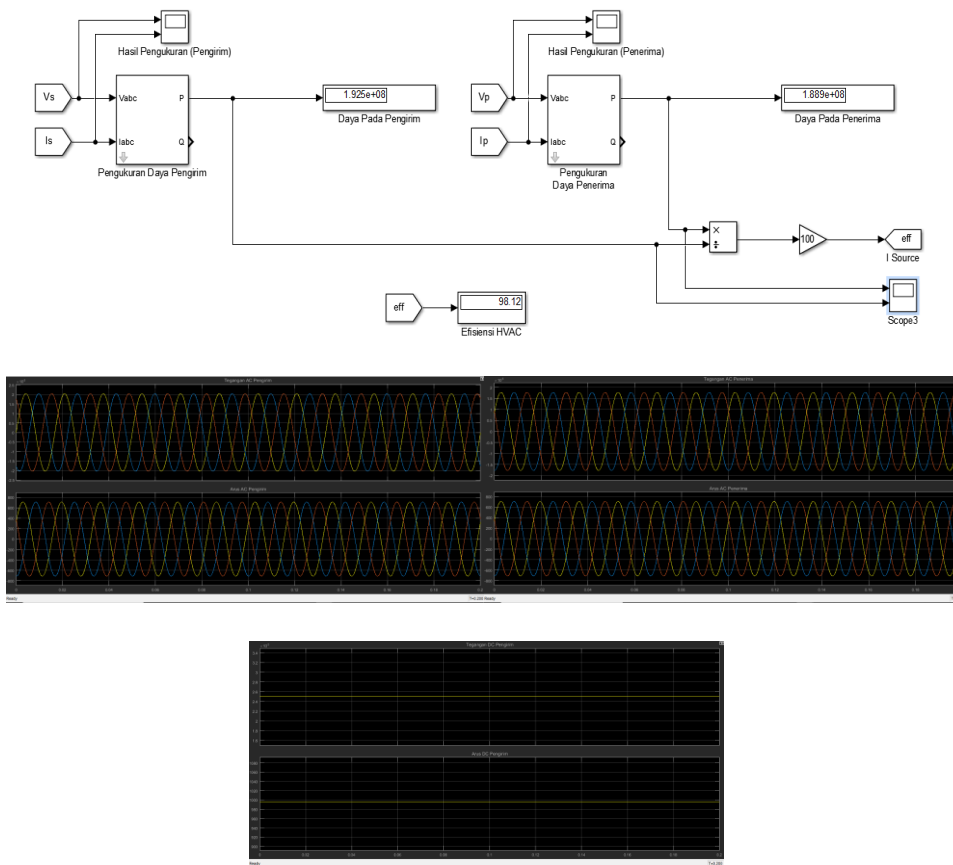
**Gambar 6. Rancangan Simulasi HVDC Dengan Pengukuran**



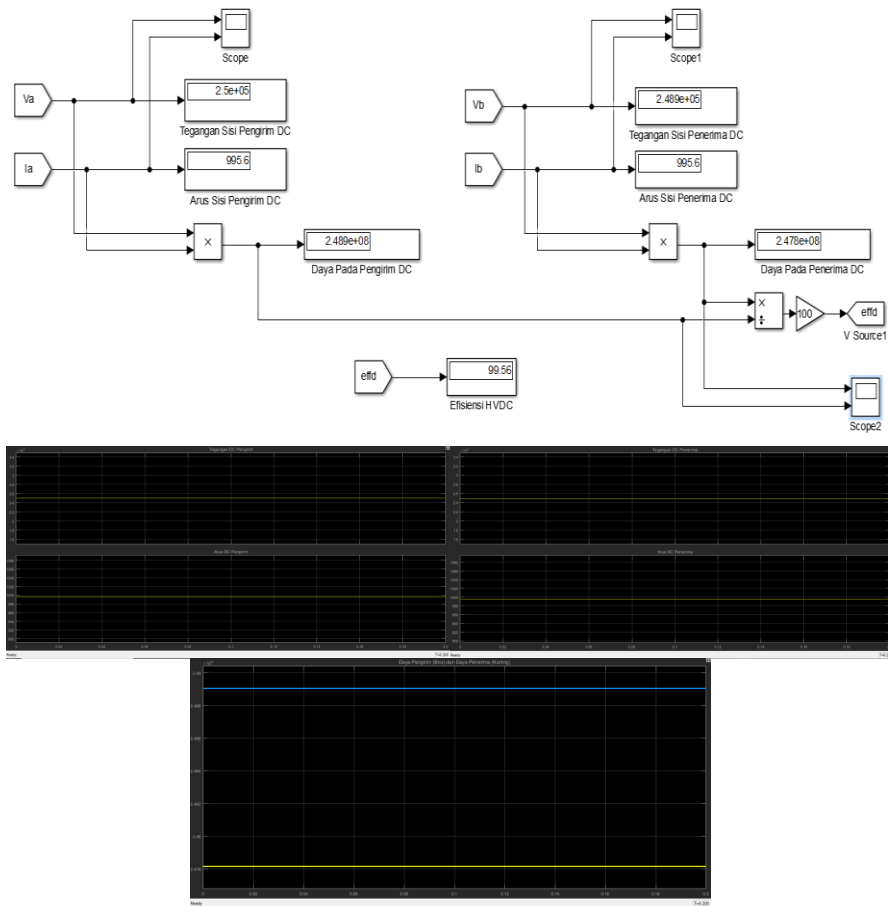
**Gambar 7. Rancangan Perhitungan Simulasi HVDC**



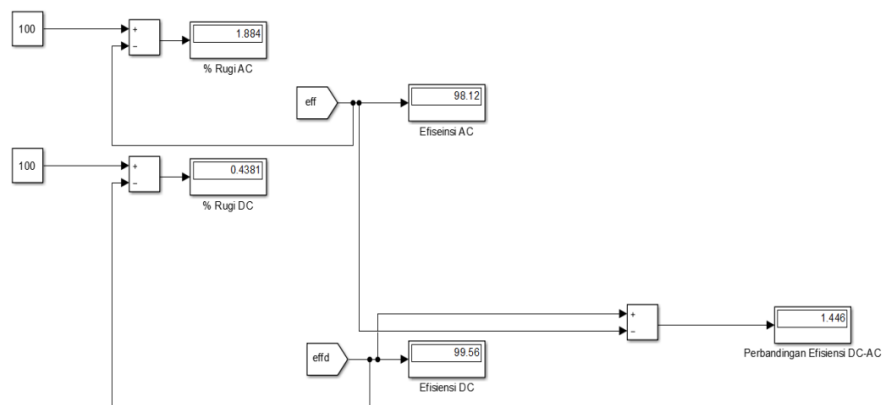
**Gambar 8. Rancangan Perbandingan Hasil Simulasi *HVAC* Dan *HVDC***



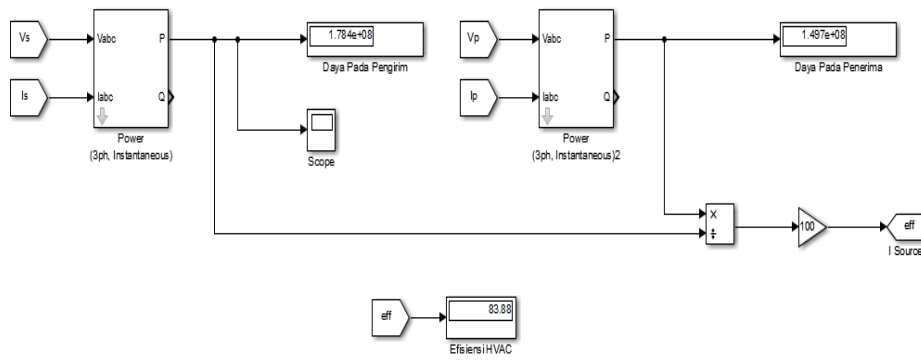
**Gambar 9. Hasil Keluaran Pada Simulasi *AC***



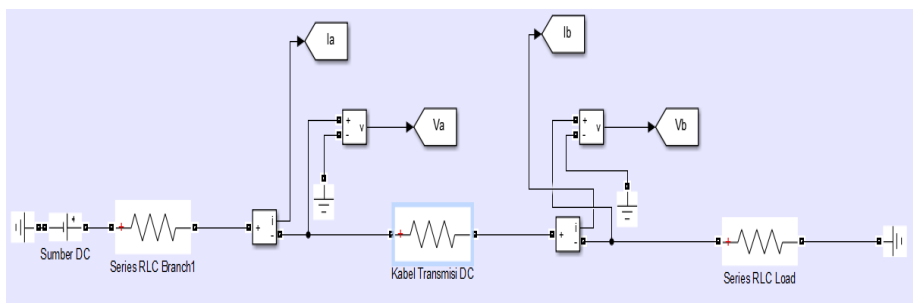
**Gambar 10. Hasil Keluaran Pada Simulasi DC**



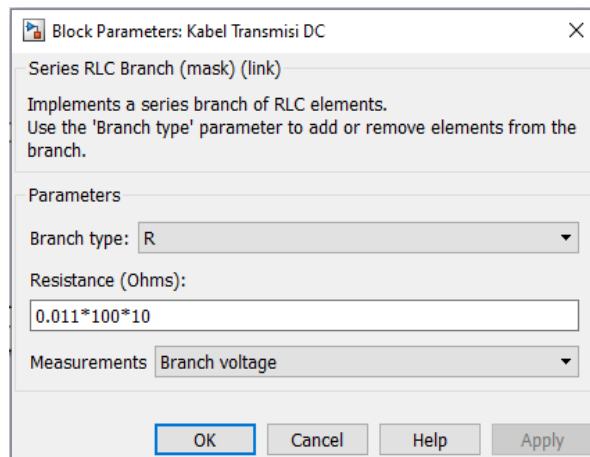
**Gambar 11. Hasil Simulasi Perbandingan Keluaran AC dan DC**



**Gambar 12. Blok Perhitungan Efisiensi Transmisi AC**  
 (Sumber : MatLab Simulink)

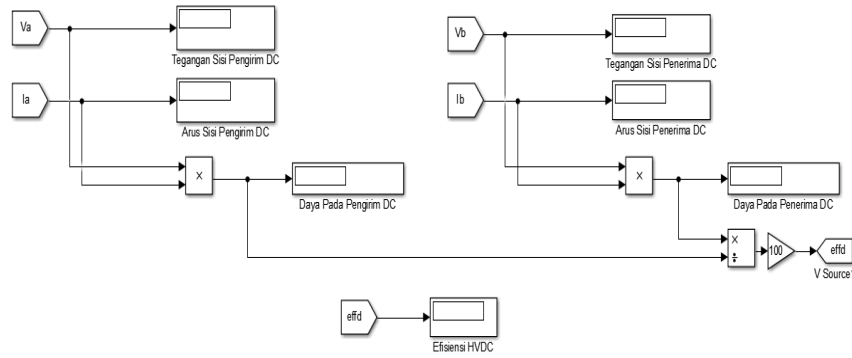


**Gambar 13. Blok Simulasi Transmisi DC**

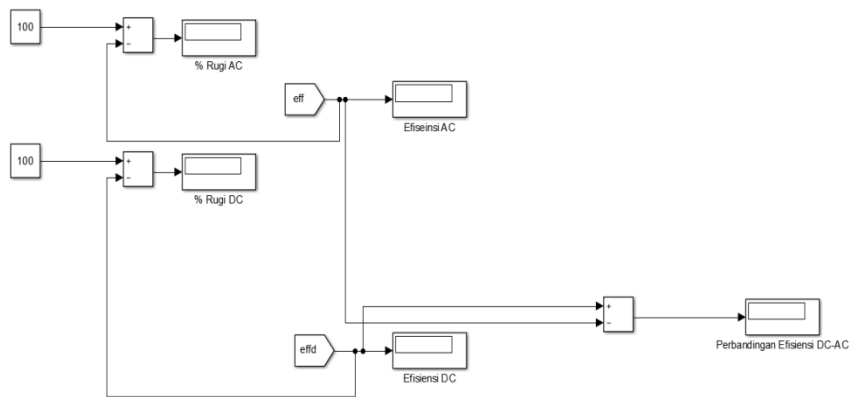


**Gambar 14. Blok Karakteristik Kabel Transmisi DC**  
 (Sumber : MatLab Simulink)





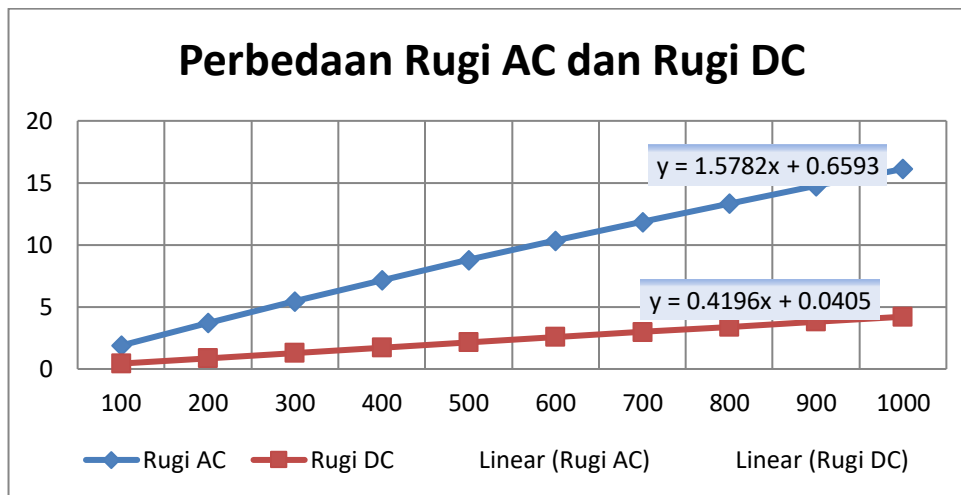
**Gambar 15. Blok Pengukuran Efisiensi DC**  
(Sumber : MatLab Simulink)



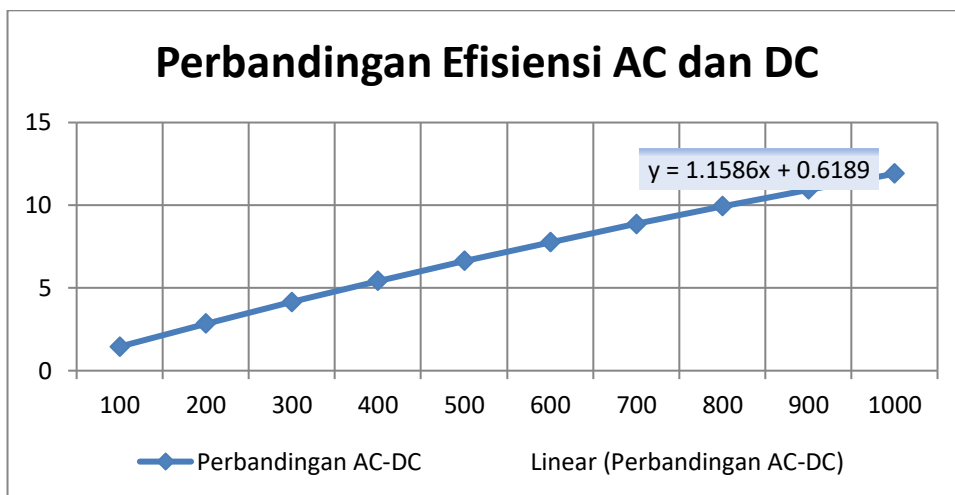
**Gambar 16. Blok Perbandingan Efisiensi AC dan DC**  
(Sumber : MatLab Simulink)

**Tabel 1.**  
**Hasil Simulasi**

Jarak (Km)	Rugi AC(%)	Rugi DC(%)	Efisiensi AC (%)	Efisiensi DC(%)	Perbandingan AC-DC
100	1,891	0,4381	98,109	99,5619	1,4529
200	3,706	0,8723	96,294	99,1277	2,8337
300	5,463	1,303	94,537	98,697	4,16
400	7,148	1,73	92,852	98,27	5,418
500	8,784	2,153	91,216	97,847	6,631
600	10,34	2,572	89,66	97,428	7,768
700	11,86	2,988	88,14	97,012	8,872
800	13,33	3,4	86,67	96,6	9,93
900	14,75	3,809	85,25	96,191	10,941
1000	16,12	4,215	83,88	95,785	11,905



Gambar 17. Grafik Perbedaan Rugi AC dan Rugi DC



Gambar 18. Grafik Perbandingan Efisiensi AC dan DC

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data yang diperoleh mengenai perbandingan efisiensi dari transmisi HVAC dan transmisi HVDC seperti pada gambar 18, dapat ditarik simpulan bahwa HVDC bekerja dengan menggunakan terminal konverter penyearah pada bagian pengirim dan inverter pada bagian penerima dengan menggunakan sistem kontrol untuk mengatur tegangan dan arus yang dialirkan dan memiliki rugi daya yang lebih sedikit dibandingkan dengan transmisi AC dengan perbedaan hanya 1,4529% pada jarak transmisi 100 km hingga 11,905

% pada jarak transmisi 1000 km. Berdasarkan simpulan diatas, penulis dapat memberikan saran untuk penelitian selanjutnya yang akan membahas masalah yang sama sebaiknya memasukkan dan menambahkan variabel pada terminal yang dapat mengetahui dan mengukur tingkat perbedaan efisiensi dari transmisi DC dan AC.

### DAFTAR PUSTAKA

Abas Kalair, Naeem dan Abas, Ntege dan Khan, Nasrullah. (2016). Comparative study of HVAC and HVDC transmission system.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews. 59. 1653-1675. 10.1016/j.rser.2015.12.288.
- Barberis Negra, Nicola dan Todorovic, J. Ackermann, Thomas. (2006). Loss evaluation of HVAC and HVDC Transmission solutions for large offshore wind farms. *Electric Power Systems Research*. 76. 916-927. 10.1016/j.epsr.2005.11.004.
- Kim, Chan-K, et al. (2009). *HVDC Transmission: Power Conversion Applications in Power Systems*. Singapura: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
- K. Meah dan S. Ula. (2007). Comparative Evaluation of HVDC and HVAC Transmission System. *IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL*, pp. 1-5, doi: 10.1109/PES.2007.385993.
- Osmanbasic, Edis. (2020, 4 Juni). High-Voltage DC Power Transmission: Should HVDC Replace AC in Power Systems?. <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/high-voltage-dc-power-transmission-hvdc-replace-ac-power-systems/,2019>.