
Desain Transmisi HVDC Dengan *Line Commutated Converter* Pada Sistem Transmisi Kalimantan Tengah

Wisnu Kusuma Sandjaya¹, Sugiarto², Diah Suwarti Widyastuti³

^{1,2}Institut Teknologi Nasional Yogyakarta: JL. Babarsari No. 2, Yogyakarta 55281, Telp: (0274) 485390 - 486986

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Perencanaan ITNY, Yogyakarta
e-mail: ¹3100210012@students.itny.ac.id, ²sugiarto.kadiman@itny.ac.id,

³diahsuwarti@sttnas.ac.id

Abstrak

Wilayah Kalimantan didominasi oleh lahan basah berawa gambut yang sangat luas dengan persebaran penduduk tersebar pada kota-kota kecil maupun besar dengan pertumbuhan kebutuhan energi listrik semakin besar setiap tahun nya. Kondisi geografis mengharuskan pembangkit listrik terletak jauh dari pusat beban yang menyebabkan transmisi daya lebih kompleks. Pada penelitian ini dilakukan simulasi sistem transmisi Kalimantan Tengah dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penambahan daya pada beban dengan kecukupan daya terendah dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mulut Tambang (PLTU-MT) Kalselteng1 untuk memasok daya ke Kota Pangkalanbun yang terletak di ujung sistem Transmisi Kalselteng. Kondisi sebelum dilakukan penambahan daya terdapat delapan bus dengan kondisi kritis dengan kecukupan daya terendah pada bus Pankalanbun sebesar 62.35%, kondisi kecukupan daya rendah juga dialami oleh bus-bus yang sekitarnya. Selain itu, kondisi geografis yang berawa-rawa yang sangat luas dan jarak pembangkit yang berada di wilayah tengah dengan pusat beban berada di barat selatan yang sangat jauh yang belum diakses oleh pembangkit besar menjadi alasan kecukupan daya sesuai standar PLN. Sistem transmisi yang dirancang pada penelitian ini adalah **high voltage direct current (HVDC)** menggunakan teknologi **Line-Commutated Converter (LCC)** dengan konfigurasi bipolar yang menghubungkan PLTU-MT Kalselteng1 dengan Pangkalanbun. Teknologi LCC cocok digunakan untuk mentransferkan daya yang besar dan lebih tepat diterapkan pada saluran transmisi darat dengan kontur tanah basah dan berair. Simulasi dilakukan melalui software **ETAP 19.0.1**. Hasil simulasi dan Analisa menunjukkan bahwa sistem transmisi HVDC-LCC dapat meningkatkan kecukupan daya yang semula kondisi under voltage atau dibawah standar PLN yaitu 85%-110% menjadi 98%, setelah dilakukan penambahan daya terdapat lonjakan kecukupan daya menjadi lebih stabil sesuai dengan standar PLN..

Kata kunci— HVDC, LCC, Sistem Transmisi, PLTU-MT, Kecukupan Daya

Abstract

The Kalimantan region is predominantly covered by extensive peat swamp wetlands, with the population spread across both small and large cities. Each year, the demand for electrical energy continues to increase. Due to the geographical conditions, power plants are located far from load centers, resulting in a more complex power transmission system. This study simulates the transmission system in Central Kalimantan by comparing conditions before and after adding power to the load, focusing on the area with the lowest power adequacy, namely the Kalselteng1 Mine-Mouth Coal-Fired Power Plant (PLTU-MT), which supplies electricity to the city of Pangkalanbun—located at the end of the Kalselteng transmission system.

*Before the power addition, eight buses were in critical condition, with the lowest power adequacy at the Pangkalanbun bus, reaching only 62.35%. Low power adequacy was also experienced by surrounding buses. The vast swampy geographical conditions and the distance between the power plant—located in the central region—and the load center in the far southwest, which has not yet been accessed by large-scale power plants, contribute to the inadequacy of power supply according to PLN standards. The transmission system proposed in this study is a **High Voltage Direct Current (HVDC)** system using **Line Commutated Converter (LCC)** technology with a bipolar configuration, connecting the Kalselteng1 PLTU-MT to Pangkalanbun. LCC technology is well-suited for high-power transfer and is more appropriate for land transmission lines with wet and swampy terrain. The simulation was carried out using ETAP 19.0.1 software. The simulation results and analysis show that the HVDC-LCC transmission system can significantly **improve power adequacy** from an initial undervoltage condition below PLN's standard range of 85%–110% to 98%. After the power addition, there was a surge in power adequacy, resulting in more stable conditions that comply with PLN standards.*

Keywords— HVDC, LCC, Transmission System, PLTU-MT, Power Sufficiency

1. PENDAHULUAN

Sistem transmisi energi listrik yang ada saat ini dan diterapkan secara luas di Indonesia adalah sistem transmisi tegangan tinggi arus bolak-balik atau high voltage alternating current (HVAC). Teknologi transmisi AC dipandang lebih mudah diterapkan sebagai sistem transmisi energi listrik terutama untuk jaringan transmisi listrik jarak menengah dan pendek[1]. Namun, sistem transmisi AC juga memiliki keterbatasan terhadap jarak jauh dan kondisi lingkungan yang berair seperti tanah gambut dapat mengakibatkan kerugian daya yang cukup signifikan yang disebabkan oleh kapasitansi dan induktansi pada saluran transmisi. Hal ini berdampak kepada efisiensi transmisi energi akan menurun seiring semakin pertambahan panjang saluran dan dapat mengganggu ketersediaan energi listrik.

Kondisi seperti ini merupakan kondisi yang umum terjadi pada jaringan kelistrikan Wilayah Kalimantan Tengah dengan sistem kelistrikan terdiri dari jaringan transmisi utama Kalselteng dan jaringan transmisi lain yang terpisah dari jaringan utama yang keseluruhannya merupakan jaringan listrik beban terisolasi (isolated). Terdapat pembangkit listrik skala besar yang terkoneksi ke jaringan transmisi namun harus terletak jauh dari beban[2]. Kondisi terjadi pada sistem kelistrikan kota Pangkalanbun, Kota Sampit, dan sekitarnya yang terletak di ujung barat-selatan jaringan Kalselteng. Faktor geografis memaksa penempatan pembangkit utama skala besar berada sangat jauh dari beban sehingga terdapat beberapa wilayah memiliki kecukupan daya yang rendah. Hal ini mengakibatkan wilayah tersebut harus bergantung kepada pembangkit listrik lokal yang secara umum merupakan pembangkit dengan unit mesin diesel (PLTD) berukuran kecil hingga menengah dan hanya beroperasi sebagai backup.

Untuk menjaga dan memperbaiki kestabilan transmisi Kalselteng di Kalimantan Tengah perlu ada upaya rekonfigurasi dan relokasi jaringan kelistrikan Kalimantan Tengah. Salah satunya adalah penambahan daya pada beban dengan kecukupan daya terendah seperti Kota Pangkalanbun dengan menambah pembangkit atau membuat jalur baru dengan menghubungkan pada pembangkit berkapasitas terbesar dan terdekat. Salah satu pilihan adalah pembangunan jalur transmisi baru sepanjang ± 300 km yang menghubungkan Pangkalan Bun dengan PLTU-MT Kalselteng 1 berkapasitas 200MW dengan menggunakan transmisi DC. DC dipilih dikarenakan DC mampu menghantarkan daya yang sangat besar dengan rugi-rugi daya kecil dibanding dengan transmisi AC.

Sistem transmisi DC atau High voltage direct current (HVDC) dengan menggunakan arus fase tetap merupakan solusi untuk menghindari rugi-rugi daya skala besar yang ditimbulkan akibat penggunaan sistem transmisi yang relatif panjang. HVDC secara garis besar memiliki banyak keunggulan dari segi teknis dan ekonomi atas sistem transmisi HVAC sebagai media transmisi energi jarak jauh. Saluran transmisi HVDC lebih direkomendasikan

pada saluran transmisi sepanjang melebihi 100-800 km sebagai transmisi jenis overhead dan jarak lebih dari 50-100 km untuk jaringan interkoneksi berbasis kabel remote offshore wind farms. Teknologi HVDC jenis line commutated converter (LCC) cocok digunakan pada saluran transmisi darat dengan menggunakan konverter 12 pulsa pada sisi rectifier yang memungkinkan daya disalurkan dalam jumlah besar dapat menghantarkan daya bahkan setelah terjadi gangguan pada sisi rectifier maupun inverter.

Penelitian skripsi ini berfokus pada peningkatan kecukupan daya dengan menggunakan teknologi dari jaringan transmisi HVDC sebagai sistem penyaluran energi listrik di Wilayah Kalimantan Tengah. Secara khusus, itu ditujukan pada dua aspek kunci dari operasi dinamis transmisi HVDC, yaitu komponen dan operasi dinamis dari transmisi HVDC dan bagaimana kerja dari transmisi HVDC berbasis LCC.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

2.1.1. Bahan dan Materi

Dalam penelitian “Desain Transmisi HVDC Dengan Line Commutated Converter Pada Sistem Transmisi Kalimantan Tengah” bahan atau materi yang digunakan yaitu:

1. Data terkait sistem transmisi 150kV Kalimantan Tengah.
2. Dokumen referensi

2.1.2. Alat

Dalam penelitian “Desain Transmisi HVDC Dengan Line Commutated Converter Pada Sistem Transmisi Kalimantan Tengah” Alat yang digunakan yaitu:

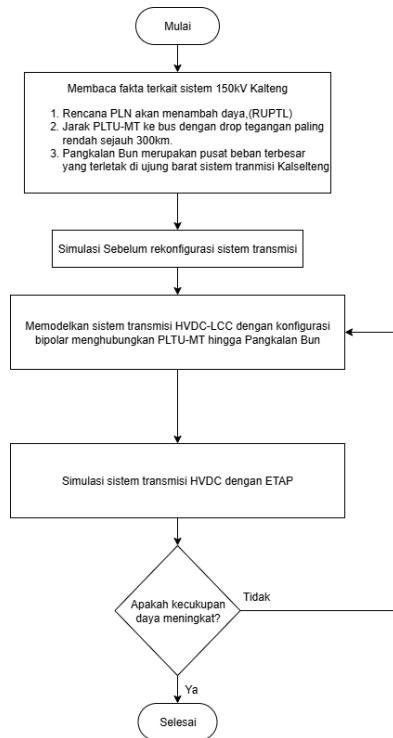
1. Laptop LENOVO THINKPAD Intel(R) Core (TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz 16 GB Memory 512 GB SSD.
2. Perangkat lunak menggunakan ETAP 19.0.1.

2.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu penelitian “Desain Transmisi HVDC Dengan Line Commutated Converter Pada Sistem Transmisi Kalimantan Tengah” dilaksanakan mulai tanggal 10 Mei 2025 hingga 10 Juli 2025 dan dilaksanakan di Laboratorium Instalasi Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Gedung D Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

2.3. Tahapan Penelitian

Tata laksana penelitian teknologi transmisi HVDC berbasis LCC membahas mengenai alur pelaksanaan penelitian terlihat pada Gambar 3.1. Tahap penelitian berjumlah tiga tahap, yaitu (a) menyiapkan data-data terkait sistem, (b) melakukan pemodelan dengan ETAP dan (c) melakukan simulasi pada kondisi normal maupun terganggu.



Gambar 2. 1.Tahapan Penelitian

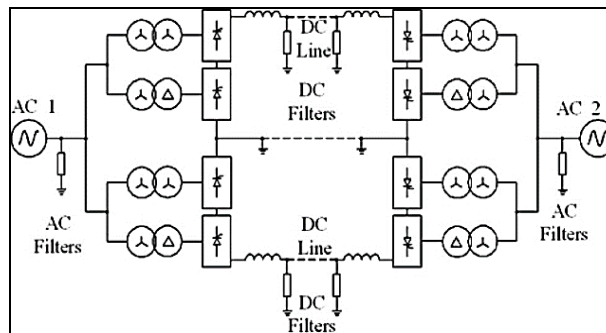
Pada langkah kedua dari prosedur simulasi adalah merancang model transmisi Kalimantan Tengah seperti langkah pada Gambar 2.1 dengan menambahkan simulasi dalam kondisi penambahan daya maupun tanpa penambahan daya. prosedur penelitian dalam membuat penelitian ini antara lain:

1. Membaca fakta terkait
Tahap pertama dimulai dengan mengumpulkan informasi dan fakta mengenai kondisi eksisting sistem transmisi 150 kV di Kalimantan Tengah (Kalteng).
2. Simulasi sebelum rekonfigurasi
Simulasi sistem sebelum dilakukan perubahan konfigurasi. Tujuannya adalah untuk mengetahui kondisi awal sistem, termasuk profil tegangan, drop tegangan, serta kapasitas daya yang mampu disalurkan. Hasil simulasi ini akan menjadi acuan untuk membandingkan kinerja sistem setelah penerapan HVDC.
3. Pemodelan Sistem HVDC-LCC Konfigurasi Bipolar
Pada tahapan ini membuat program simulasi pada ETAP untuk melihat, menghitung dan memvisualisasikan tran transmisi DC, perbandingan kecukupan daya sebelum dan sesudah penambahan daya pada sistem transmisi, serta dampak HVDC terhadap besarnya kecukupan daya dalam sistem transmisi Kalimantan Tengah.
4. Simulasi Sistem HVDC dengan ETAP
Percobaan dilakukan guna memperoleh data yang diharapkan, yakni data perbandingan kondisi masing-masing bus pada sistem transmisi Kalimantan Tengah sebelum dan sesudah penambahan daya dari PLTU-MT.
5. Evaluasi
Setelah memperoleh hasil pada simulasi awal, studi dilakukan khusus untuk mengevaluasi besarnya dampak HVDC pada masing-masing bus terutama dengan bus yang dalam kategori kritis dan tidak stabil di saluran transmisi Kalimantan Tengah
6. Kesimpulan
Kesimpulan dihasilkan setelah melakukan analisis data, kemudian berdasarkan analisis data dan faktor yang menyebabkan susut daya dan peningkatan kualitas listrik dengan merumuskan solusi dan strategi rekonfigurasi guna meningkatkan kecukupan daya pada sistem transmisi Kalselteng.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Struktur Transmisi DC

Sistem HVDC yang dapat dibangun untuk wilayah Kalimantan Tengah yang didominasi oleh kawasan gambut berawa-rawa adalah sistem transmisi HVDC berjenis konverter LCC dengan konfigurasi bipolar, konfigurasi bipolar dipilih karena lebih efisien sebagai pengantar daya listrik. Konfigurasi bipolar mampu mentransmisikan daya dua kali lipat dibanding sistem monopolar dengan tegangan yang sama dan mendukung arah daya dua arah (bidirectional). Konfigurasi sistem HVDC bipolar dipilih karena menawarkan kapasitas transmisi yang lebih besar dengan keandalan tinggi, serta minim dampak dan pengaruh dari lingkungan. Hal ini menjadi pertimbangan sangat penting dalam membangun jaringan transmisi di wilayah Kalimantan Tengah yang memiliki karakteristik geografis berupa tanah gambut serta banyak kawasan konservasi, sehingga penggunaan arus balik melalui tanah pada sistem monopolar menjadi kurang ideal



Gambar 3. 1. Konfigurasi Bipolar HVDC LCC 12 pulse

Gambar 3.1 menunjukkan sistem transmisi HVDC bipolar yang terdiri dari dua jalur DC, yaitu positif dan negatif, yang menghubungkan dua sistem tenaga AC melalui proses konversi daya. Pada sisi pengirim, daya AC diubah menjadi DC menggunakan konverter, dan sebaliknya pada sisi penerima. Masing-masing konverter dilengkapi dengan trafo dan komponen seperti thyristor, serta AC filter untuk mengurangi harmonisa. Di sisi DC, terdapat DC filter yang berfungsi mengurangi harmonisa dan gangguan elektromagnetik. Kedua jalur DC membawa arus dalam arah berlawanan dan membentuk sistem bipolar yang dapat beroperasi dalam mode monopolar darurat dengan menggunakan tanah sebagai jalur arus balik jika salah satu jalur terganggu.

3.2. Kondisi Transmisi Sebelum Penambahan Daya

Langkah awal untuk mengetahui kecukupan daya pada sistem transmisi Kalimantan Tengah dilakukan melalui simulasi jaringan menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil simulasi ditampilkan dalam Single Line Diagram (SLD) pada Lampiran 9, yang memperlihatkan adanya perbedaan persentase kecukupan daya yang signifikan di tiap bus. Bus yang terletak jauh dari pembangkit, seperti Pangkalanbun, menerima daya paling rendah sebesar 62,71%, jauh di bawah standar PLN yang berada di kisaran 85%–110%. Untuk memperjelas kondisi ini, Tabel 1 menyajikan persentase kecukupan daya pada tiap bus berdasarkan hasil simulasi tersebut,

Tabel 1. Kecukupan daya Wilayah Kalimantan Tengah

NAMA BUS	kV	%Mag.	Arah Saluran	MW	Mvar	Amp	%PF
BAGENDANG	150	68.068	KUALA PAMBUANG	10.982	1.069	62.4	99.5

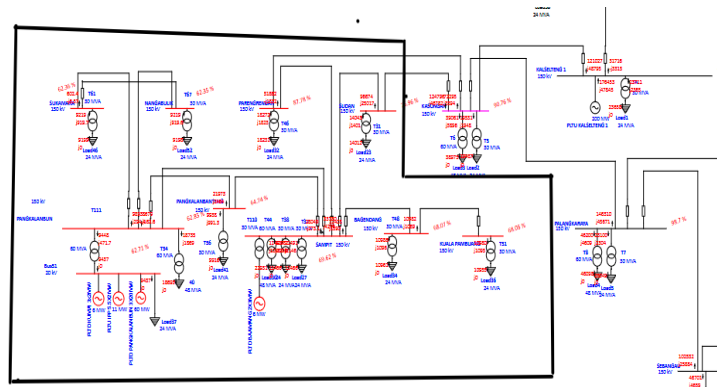
NAMA BUS	kV	%Mag.	Arah Saluran	MW	Mvar	Amp	%PF
			SAMPIT	-21.968	-2.164	124.8	99.5
			Bus53	10.986	1.096	62.4	99.5
BENGGANAI	150	100.000	MUARA TEWEH	40.846	-5.277	158.5	99.2
			BUNTOK	16.249	-6.828	67.8	92.2
			Bus81	23.665	2.354	91.5	99.5
BUNTOK	150	91.552	MUARA TEWEH	-5.171	-1.288	22.4	97.0
			BENGGANAI	-14.703	-0.695	61.9	99.9
			Bus78	19.874	1.983	84.0	99.5
KALSELTENG 1	150	100.000	KASONGAN	121.027	48.795	502.3	92.7
			KUALA KURUN	31.577	-3.307	122.2	99.5
			Bus8	23.711	2.365	91.7	99.5
KASONGAN	150	90.758	KALSELTENG 1	-115.914	-31.656	509.6	96.5
			PALANGKARAYA	-139.770	-24.565	601.8	98.5
			PARENGRENGAN	72.295	3.594	307.0	99.9
			SUDAN	124.796	46.782	565.2	93.6
			Bus1	19.531	1.948	83.2	99.5
			Bus10	39.061	3.896	166.5	99.5
KUALA KURUN	150	94.805	KALSELTENG 1	-29.860	1.618	121.4	99.9
			PURUKCAHU	8.549	-3.744	37.9	91.6
			Bus74	21.311	2.126	87.0	99.5
KUALA PAMBUANG	150	68.048	BAGENDANG	-10.980	-1.095	62.4	99.5
			Bus55	10.980	1.095	62.4	99.5
MINTIN	150	100.000	PULANG PISAU	138.576	29.757	545.5	97.8
			SEBANGAU	150.332	30.950	590.8	97.9
MUARA TEWEH	150	93.703	BENGGANAI	-38.075	4.258	157.4	99.4
			BUNTOK	5.331	-4.749	29.3	74.7
			PURUKCAHU	11.925	-1.586	49.4	99.1
			Bus76	20.819	2.077	85.9	99.5
NANGABULIK	150	62.354	PANGKALANBUN	-8.616	-0.901	53.5	99.5
			SUKAMARA	-0.602	-0.019	3.7	100.0
			Bus69	9.219	0.920	57.2	99.5
PALANGKARAYA	150	98.704	KASONGAN	146.310	45.671	597.7	95.5
			PULANG PISAU	-113.608	-26.867	455.2	97.3
			SEBANGAU	-102.002	-25.717	410.2	97.0
			Bus13	23.100	2.304	90.5	99.5
			Bus12	46.200	4.609	181.1	99.5
PANGKALAN BANTENG	150	64.740	PANGKALAN BUN	21.973	2.464	131.5	99.4
			SAMPIT	-31.911	0.000	-3.456	190.8
PARENGRENGAN	150	87.785	KASONGAN	-70.134	0.010	307.5	100.0
			SAMPIT	51.862	-1.832	227.5	99.9
			Bus52	18.272	1.823	80.5	99.5
PULANG PISAU	150	99.295	MINTIN	-137.638	-29.418	545.6	97.8
			PALANGKARAYA	114.261	27.086	455.2	97.3
			Bus29	23.378	2.332	91.1	99.5
PURUKCAHU	150	91.556	KUALA KURUN	-8.230	-1.383	35.1	98.6
			MUARA TEWEH	-11.646	-0.600	49.0	99.9
			Bus75	19.876	1.983	84.0	99.5
SAMPIT	150	69.616	PANGKALANBUN	28.049	-0.273	155.1	100.0

NAMA BUS	kV	%Mag.	Arah Saluran	MW	Mvar	Amp	%PF
			PARENGRENGAN	-40.749	4.362	226.6	-99.4
			BAGENDANG	22.408	1.590	124.2	99.7
			PANGKALANBANTENG	33.780	4.276	188.3	99.2
			SUDAN	-89.453	-14.540	501.1	98.7
			Bus47	11.491	1.146	63.8	99.5
			Bus48	11.491	1.146	63.8	99.5
			Bus50	22.982	2.293	127.7	99.5
			Bus120	0.000	0.000	0.0	0.0
SEBANGAU	150	99.237	MINTIN	-149.233	-30.542	590.8	98.0
			PALANGKARAYA	102.532	25.884	410.2	97.0
			Bus33	46.701	4.659	182.0	99.5
SUDAN	150	76.959	KASONGAN	-110.718	-26.418	569.3	97.3
			SAMPIT	96.674	25.017	499.4	96.8
			Bus41	14.043	1.401	70.6	99.5
SUKAMARA	150	62.355	NANGABULIK	0.602	-0.007	3.7	100.0
			PANGKALANBUN	-9.822	-0.913	60.9	99.6
PANGKALAN BUN	150	62.854	NANGABULIK	8.679	0.163	53.2	100.0
			PANGKALAN BANTENG	-21.432	-2.794	132.4	99.2
			SAMPIT	-25.323	-0.003	155.1	100.0
			SUKAMARA	9.893	0.294	60.6	100.0
			Bus42	18.735	1.869	115.3	99.5

Berdasarkan hasil analisis Tabel 4.1, ditampilkan data simulasi aliran daya sistem tenaga menggunakan ETAP, yang mencakup informasi operasional setiap bus seperti tegangan (kV), persentase terhadap tegangan nominal, arah aliran daya, daya aktif (MW), daya reaktif (Mvar), arus saluran (Amp), dan faktor daya (%PF). Data ini digunakan untuk mengevaluasi kestabilan sistem, keandalan tegangan, dan efisiensi distribusi daya. Diketahui bahwa beberapa bus mengalami kondisi under voltage akibat susut daya transmisi yang signifikan pada sistem interkoneksi Kalimantan Selatan–Tengah (Kalselteng), terutama pada bus yang jauh dari pusat pembangkitan. Dampak susut daya terhadap tegangan di setiap bus ditampilkan lebih lanjut dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Bus dengan status Under Voltage

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating
KUALA PAMBUANG	Bus	<i>Under Voltage</i>	150	kV	102.073	68.0
NANGABULIK	Bus	<i>Under Voltage</i>	150	kV	93.531	62.4
PANGKALANBANTENG	Bus	<i>Under Voltage</i>	150	kV	97.110	64.7
PANGKALANBUN	Bus	<i>Under Voltage</i>	150	kV	94.282	62.9
SAMPIT	Bus	<i>Under Voltage</i>	150	kV	104.424	69.6
SUDAN	Bus	<i>Under Voltage</i>	150	kV	115.439	77.0
SUKAMARA	Bus	<i>Under Voltage</i>	150	kV	93.533	62.4
BAGENDANG	Bus	<i>Under Voltage</i>	150	kV	102.102	68.1



Gambar 3. 2. Bus-bus yang berstatus under voltage

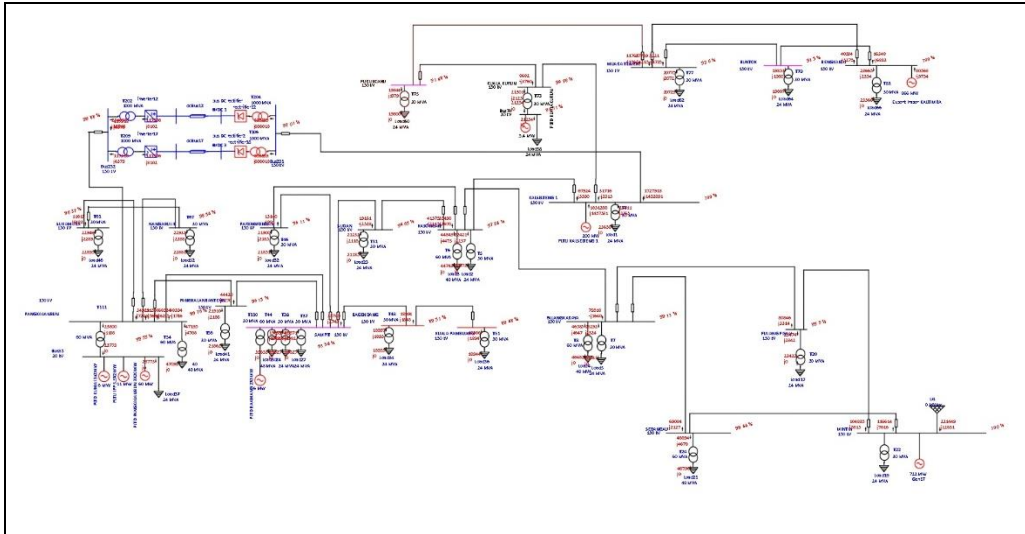
3.3. Kondisi Setelah Penambahan Daya

Hasil simulasi sistem kelistrikan Kalimantan Tengah setelah penambahan beban dari PLTU-MT Kalselteng1 melalui sambungan HVDC sepanjang 300 km dengan konfigurasi bipolar dan model konverter LCC menunjukkan perubahan signifikan. Persentase kecukupan daya yang sebelumnya berada di bawah standar PLN mengalami peningkatan yang cukup besar. Peningkatan ini tidak hanya terjadi pada bus Pangkalanbun sebagai titik sambungan utama, tetapi juga pada bus-bus di sekitarnya yang sebelumnya mencatat kecukupan daya di bawah ambang batas. Perbaikan ini dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.3.

Tabel 3. Perbandingan kondisi kecukupan daya sebelum dan sesudah tambah daya

Bus/Gardu Induk	kV	% Sesudah	% Sebelum	Bus/Gardu Induk	kV	% Sesudah	% Sebelum
BAGENDANG	150	89.509	68.068	NANGA BULIK	150	98.344	62.354
BENGKANAI	150	100.000	100.000	PALANGKA RAYA	150	99.114	98.704
BUNTOK	150	91.552	91.552	PANGKALAN BANTENG	150	96.128	64.740
KALSELTENG 1	150	100.000	100.000	PARENGRENGAN	150	96.105	87.785
KASONGAN	150	97.243	90.758	PULANG PISAU	150	99.499	99.295
KUALA KURUN	150	94.783	94.805	PURUK CAHU	150	91.483	91.556
KUALA PAMBUANG	150	89.483	68.048	SAMPIT	150	91.545	69.616
MINTIN	150	100.000	100.000	SEBANGAU	150	99.442	99.237
MUARA TEWEH	150	93.604	93.703	SUDAN	150	94.628	76.959

Setelah pemasangan sistem HVDC dari PLTU MT Kalselteng 1 ke Pangkalanbun, terjadi peningkatan signifikan pada distribusi daya dan kualitas tegangan di sistem transmisi Kalimantan Tengah. Tegangan Bus Pangkalanbun meningkat dari 62,85% menjadi 99,761% dari tegangan nominal, menunjukkan perbaikan kondisi suplai daya. Bus ini juga berperan sebagai titik distribusi utama ke wilayah sekitarnya seperti Nangabulik, Sukamara, Sampit, dan Pangkalanbanteng. Secara keseluruhan, penambahan daya melalui HVDC berhasil meningkatkan kecukupan daya di sebagian besar bus yang sebelumnya berada di bawah standar.



Gambar 3. 3. SLD Transmisi Kalimantan Tengah sesudah dilakukan penambahan Daya

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain transmisi HVDC-LCC Bipolar pada sistem Transmisi Kalimantan tengah, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kelistrikan Kalimantan Tengah telah disimulasikan dalam SLD ETAP dan dua kondisi operasi sebelum dan sesudah penambahan daya dari PLTU-MT Kalselteng1 dengan menggunakan transmisi HVDC-LCC perbandingan besaran kecukupan daya dengan selisih yang besar. Semula terdapat sebanyak delapan bus dengan kondisi under voltage atau dibawah standar PLN yaitu 85%-110%, setelah dilakukan penambahan daya terdapat lonjakan kecukupan daya menjadi sesuai dengan standar dengan persentase tertinggi adalah 100% dan terendah adalah 89,509% pada bus Bagendang.
2. Bus yang sebelumnya mengalami kondisi kekurangan tegangan seperti Nangabulik, Sukamara, Kuala Pembuang, dan Pangkalanbun kini menunjukkan peningkatan tegangan dan arus yang lebih stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa suplai daya tambahan dari jalur HVDC berhasil menekan rugi-rugi saluran (losses) dan meningkatkan kualitas tegangan di sisi beban. Kesimpulan dapat berupa paragraf, namun sebaiknya berbentuk point-point dengan menggunakan numbering atau bullet.

5. SARAN

Skripsi ini masih bisa dikembangkan ke arah pelaksanaan simulasi yang lebih rinci dan terstruktur. Kemudian dapat pula dilakukan pengembangan ke arah sistem kendalinya, seperti sistem kendali kesetimbangan tegangan DC

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua yang telah memberikan semangat, kepada dosen pembimbing utama, dosen pembimbing pendamping, dosen penguji, teman Teknik elektro, serta seluruh pihak yang telah membantu saya dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Ermiazis Kesuma and M. Ginarsa, "Analisis Unjuk Kerja High Voltage Direct Current (Hvdc) Berbasis Voltage Source Converter (Vsc) Saat Starting Dan Gangguan Hubung Singkat," *Dielektrika*, vol. 6, no. 2, pp. 84–92, 2019.
 - [2] E. Liun and M. Prapatan, "Economic Aspect of Hvdc Transmission System for Indonesia Consideration in Nuclear Power," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 11, no. 2, pp. 100–109, 2009.
 - [3] G. Samodra, A. Priyadi, and I. Robandi, "Analisis Stabilitas Sistem Kelistrikan Kalimantan dan Jawa 500 kV DC Menggunakan Time Domain Simulation," *Semin. Nas. Fortei Reg.* 7, pp. 122–127, 2018.
 - [4] R. Rudervall, J. Chapentier, and Raghuvveer Sharma, "High voltage direct current (HVDC) transmission systems technology review paper," *Energy Week*, no. Ccc, pp. 1–19, 2000, [Online]. Available: http://www2.internetcad.com/pub/energy/technology_abb.pdf
 - [5] E. Liun, "Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Perbandingan Keekonomian Transmisi HVDC dan Pengangkutan Batubara Dalam Pengembangan Kelistrikan Kalimantan - Sulawesi," vol. 18, no. 2, pp. 113–122, 2017.
 - [6] M. Nandan, A. Pachori, and N. Saxsena, "HVDC Transmission System Using 6-Pulse IGBT Converter," *Int. J. Eng. Res.*, vol. 7, no. 7, pp. 37–44, 2013.
 - [7] F. Mohammadi, N. Azizi, H. Moradi CheshmehBeigi, and K. Rouzbehi, "Stability and control of VSC-based HVDC systems: A systematic review," *e-Prime - Adv. Electr. Eng. Electron. Energy*, vol. 8, no. March, p. 100503, 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100503.
 - [8] O. Kotb, V. K. Sood, and O. N. Lh, "A Hybrid HVDC Transmission System Supplying a.pdf," 2010.
 - [9] M. P. Bahrman, "HVDC transmission overview," *Transm. Distrib. Expo. Conf. 2008 IEEE PES Powering Towar. Futur. PIMS 2008*, pp. 1–7, 2008, doi: 10.1109/TDC.2008.4517304.
 - [10] Y. Zhu, Q. Guo, C. Li, D. Chang, D. Chen, and Y. Zhu, "Research on Power Modulation Strategy for MMC-HVDC and LCC-HVDC in Parallel HVDC System," *2019 3rd IEEE Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr. Ubiquitous Energy Netw. Connect. Everything, EI2 2019*, pp. 1456–1461, 2019, doi: 10.1109/EI247390.2019.9061853.
 - [11] Arwindra Rizqiawan, "Memahami HVDC: Teknologi dan Pemanfaatan," Konversi ITB. Accessed: Mar. 16, 2025. [Online]. Available: <https://konversi.wordpress.com/2010/06/07/memahami-hvdc-teknologi-dan-pemanfaatan/>
 - [12] B. K. J. Michael P.Bahrman, "IEEE march/april 2007," *Ieee Power Energy Mag.*, no. april, pp. 32–44, 2007.
 - [13] N. Flourentzou, V. G. Agelidis, and G. D. Demetriades, "VSC-based HVDC power transmission systems: An overview," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 3, pp. 592–602, 2009, doi: 10.1109/TPEL.2008.2008441.
 - [14] L. Chetty and N. M. Ijumba, "System identification of classic HVDC systems," *SAIEE Africa Res. J.*, vol. 102, no. 4, pp. 113–119, 2011, doi: 10.23919/saiee.2011.8531910.
-

-
- [15] O. E. Oni, K. I. Mbangula, and I. E. Davidson, "A Review of LCC-HVDC and VSC-HVDC Technologies and Applications," *Trans. Environ. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 3, p. 68, 2016, doi: 10.22149/teee.v1i3.29.
- [16] M. Jafar and M. Molinas, "A transformerless series reactive/harmonic compensator for line-commutated HVDC for grid integration of offshore wind power," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 6, pp. 2410–2419, 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2225396.
- [17] J. Song, "Analysis of Hybrid LCC-VSC HVDC Transmission Systems," no. June, 2018.
- [18] Z. Li *et al.*, "Recent developments in HVDC transmission systems to support renewable energy integration," *Glob. Energy Interconnect.*, vol. 1, no. 5, pp. 595–607, 2018, doi: 10.14171/j.2096-5117.gei.2018.05.009.
- [19] A. Ahmed, D. Khan, and A. M. Khan, "Modeling of Efficient Control Strategies for LCC-HVDC Systems: A Case Study of Matiari–Lahore HVDC Power Transmission Line," *Sensors*, vol. 22, no. 7, 2022, doi: 10.3390/s22072793.
- [20] Wikipedia, "HVDC converter," Wikipedia. Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/HVDC_converter
-
-