

Analisis Kestabilan Transien pada *Master Plan* Sistem Kelistrikan Kalimantan 500 kV Menggunakan *Time Domain Simulation*

¹Nur Atiqah Rianty Sari, ²Margo Pujiantara, ³Imam Robandi

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

E-mail: ¹nuratiqahrianty@gmail.com, ²margo@ee.its.ac.id, ³robandi@ee.its.ac.id

Abstrak— Pemanfaatan kebutuhan energi listrik di pulau Kalimantan semakin meningkat, sehingga membutuhkan sistem transmisi yang mampu menyalurkan daya secara optimal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Untuk mewujudkan hal tersebut, Perusahaan Listrik Negara (PLN) merencanakan pengembangan transmisi master plan sistem kelistrikan Kalimantan 500 kV. Rencana pengembangan sistem transmisi menghubungkan antara provinsi Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara. Dengan pengembangan sistem transmisi tersebut, maka diperlukan analisis kestabilan transien terhadap sistem. Pada penelitian ini dilakukan analisis kestabilan transien menggunakan metode domain waktu (*Time Domain Simulation*, TDS) akibat generator lepas (*generator outage*) dan gangguan hubung singkat 3 fasa (*short circuit*). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi pada sistem. Hasil simulasi yang diperoleh akibat generator lepas adalah sistem kehilangan suplai daya terbesar dari total pembangkitan untuk tahun 2023-2050 yaitu 5,78%. Saat gangguan hubung singkat 3 fasa pada bus dan satu saluran *double circuit* 500 kV sistem dapat kembali stabil.

Kata Kunci—Kestabilan Transien, Sistem Kelistrikan Kalimantan, *Time Domain Simulation*

Abstract – Indonesia needs electrical energy until the future. Kalimantan Island is an island that has an important role in the development of economy and industry in Indonesia, thus requiring electrical systems that can meet the needs of electrical energy. To achieve this, the Indonesia Electricity Company plans to develop a transmission master plan of Kalimantan 500 kV electricity system. The transmission system development plan connects between the provinces of West Kalimantan, Central Kalimantan, South Kalimantan, East Kalimantan, and North Kalimantan. With the development of the transmission system, transient stability analysis of the system is required. In this research, transient stability analysis using *Time Domain Simulation* (TDS) method was used by generator outage, short circuit short circuit, and loose one double circuit channel in bus masterplan of Kalimantan 500 kV. This analysis aims to determine the response of rotor angle, voltage, and frequency in the system. The simulation result obtained from the freelance generator is the largest lost power supply system from total generation for the year 2023 until 2050 which is 7%, so the system does not lose synchronization and still within the standard limits. When the 3-phase short circuit breaks and loose one of the 500 kV dual circuit channels the system can be re-stabilized.

Keywords: *Transient Stability, Electrical System Kalimantan, Time Domain Simulation*

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan beban setiap tahun membutuhkan suplai daya yang optimal [1]. Untuk memenuhi hal tersebut, diperlukan sistem interkoneksi yang mampu menyalurkan daya untuk memenuhi kebutuhan beban. Perusahaan Listrik Negara (PLN) merencanakan pengembangan sistem transmisi di Pulau Kalimantan yang terinterkoneksi antar provinsi. Pengembangan sistem transmisi dapat menyebabkan sistem mengalami perubahan kestabilan. Perubahan kestabilan disebabkan karena gangguan kecil dan gangguan besar (transien). Gangguan yang terjadi ditandai dengan aktivitas dari generator mengalami perubahan kecepatan dan beban secara tiba-tiba. Oleh karena itu, generator harus dapat mempertahankan sinkronisasi dengan generator lain agar kestabilan sistem tetap terjaga [2].

Kestabilan sistem tenaga merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi awal setelah mengalami gangguan. Kestabilan terbagi menjadi tiga yaitu kestabilan sudut rotor, frekuensi, dan tegangan. Kestabilan sudut rotor tergantung pada kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik pada masing-masing generator. Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan frekuensi stabil setelah mengalami gangguan yang besar akibat dari kapasitas pembangkit yang tidak dapat menanggung kebutuhan beban [3]. Kestabilan tegangan tergantung pada kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keseimbangan antara suplai daya reaktif dengan daya beban. Ketidakstabilan tegangan pada sistem transmisi menyebabkan tegangan jatuh (*drop voltage*) sehingga suplai daya terputus [4].

Kestabilan transien merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keseimbangan antara suplai daya dengan beban. Kestabilan transien disebabkan gangguan besar seperti gangguan generator lepas (*generator outage*), gangguan sirkuit pendek (*short circuit*), dan perubahan beban secara tiba-tiba [5]. Persyaratan yang harus dipenuhi untuk kestabilan transien adalah sudut rotor relatif dari dua generator pada sistem tenaga listrik kurang dari 180 derajat dan osilasi diredam, tegangan pada bus dapat kembali diatas 0,8 p.u dan setelah gangguan tidak boleh berada pada tegangan 0,75 p.u dalam waktu lebih dari satu detik. Nilai frekuensi tidak boleh dibawah 47 Hz selama 0,5 detik [6].

Salah satu metode yang digunakan untuk analisis kestabilan transien adalah simulasi domain waktu (*Time Domain Simulation*, TDS). TDS [7] merupakan metode paling akurat dan handal untuk menyelesaikan masalah kestabilan transien. TDS adalah metode untuk mengetahui kestabilan transien berdasarkan waktu simulasi (*simulation time*) yang diberikan. Output dari TDS digunakan untuk menganalisis kestabilan transien sampai sistem mendapatkan nilai

stabil atau tidak stabil sehingga program TDS dapat diakhiri. Waktu simulasi dapat diatur lebih dari 5 detik agar hasil yang diperoleh lebih handal [8]. Penelitian ini menggunakan software DigSILENT Power Factory untuk mengetahui hasil dari kestabilan transien. Pada referensi [4][9], penulis mendapatkan hasil penelitian dari stabilitas tegangan pada sistem tenaga listrik dan pemodelan sistem transmisi menggunakan DigSILENT Power Factory dengan efisien dan stabil.

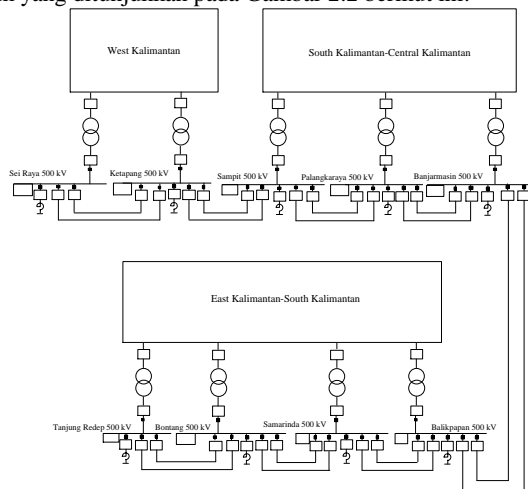
Perencanaan pengembangan transmisi masterplan 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan merupakan upaya untuk menyalurkan kebutuhan beban yang semakin meningkat. Rencana pengembangan ini menghubungkan backbone antara provinsi Kalimantan Barat (Pontianak dan Ketapang), Kalimantan Tengah (Sampit dan Palangkaraya), Kalimantan Selatan (Banjarmasin), Kalimantan Timur (Balikpapan, Samarinda, dan Bontang), dan Kalimantan Utara (Tanjung Redep). Pengembangan sistem transmisi ini juga memperhatikan penambahan beban dan penambahan kapasitas pembangkit setiap tahunnya. Dengan adanya pengembangan tersebut maka diperlukan kestabilan transien sistem kelistrikan Kalimantan pada tahun 2023-2050.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sistem Kelistrikan Kalimantan

Sistem kelistrikan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah sistem transmisi backbone 500 kV Kalimantan. Sistem transmisi ini terbagi menjadi tiga area yaitu area 1 (Provinsi Kalimantan Barat), area 2 (Provinsi Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah), dan area 3 (Provinsi Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara). Ketiga area tersebut harus mampu memenuhi kebutuhannya sendiri. Sistem transmisi backbone 500 kV menggunakan jalur alternatif yaitu jalur selatan. Jalur selatan melewati kota Pontianak (Kalimantan Barat), Ketapang (Kalimantan Barat), Sampit (Kalimantan Tengah), Palangkaraya (Kalimantan Tengah), Banjarmasin (Kalimantan Selatan), Balikpapan (Kalimantan Timur), Samarinda (Kalimantan Timur), Bontang (Kalimantan Timur), dan Tanjung Redep (Kalimantan Utara). Data yang digunakan untuk analisis sistem transmisi backbone 500 kV terdiri dari pembangkit, gardu induk, dan saluran transmisi tahun 202, 2026, 2029, 2032, 2035, 2040, 2045, dan 2050.

Sistem transmisi backbone 500 kV yang digunakan dalam analisis kestabilan transien digambarkan dalam bentuk single line diagram yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1 Single Line Diagram Kalimantan 500 kV

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mengumpulkan referensi buku dan paper mengenai PSA (Power System Analysis) yang dapat digunakan sebagai referensi dalam menganalisis kestabilan transien.

2. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data-data sistem kelistrikan Kalimantan pada rating tegangan 150 kV dan master plan 500 kV. Data-data yang dibutuhkan meliputi data beban dari tahun 2023-2050, kapasitas pembangkit, kapasitas trafo, tipe dan impedansi saluran (line), dan rating tegangan pada bus.

3. Pemodelan Sistem

Memodelkan sistem kelistrikan Kalimantan dalam bentuk single line diagram pada tahun 2023-2050 dan memasukkan data-data yang sudah didapatkan menggunakan software DigSILENT PowerFactory 15.1 agar dapat melakukan simulasi aliran daya (load flow) dan analisa kestabilan transien.

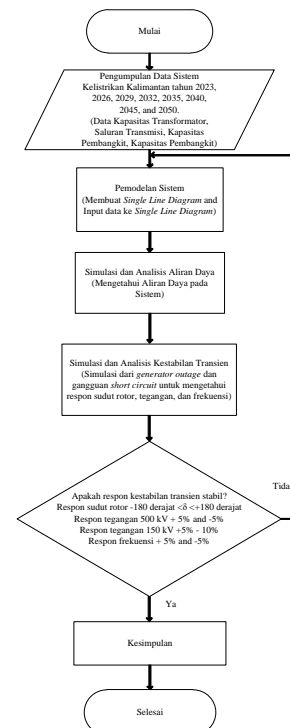
4. Simulasi dan Analisis Kestabilan Transien

Simulasi yang dilakukan setelah melakukan pemodelan berupa single line diagram merupakan simulasi aliran daya (load flow). Setelah itu melakukan analisa kestabilan transien dengan memberikan gangguan transien yaitu short circuit dan generator outage, maka dapat dianalisis respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor.

5. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan dari kestabilan sistem akibat gangguan yang terjadi pada master plan 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan pada tahun 2023-2050 dan memberikan rekomendasi solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi gangguan yang terjadi sehingga sistem tetap dalam keadaan stabil.

Berikut merupakan gambar diagram alir metode yang akan dilakukan pada tugas akhir ini:



Gambar 2.2 Diagram Alir Metodologi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi kasus yang diberikan pada simulasi dan analisis kestabilan transien ada dua yaitu kasus generator outage dan short circuit. Pada simulasi ini generator outage terdiri dari 1 generator outage dan 2 generator outage dari masing-masing area yaitu area Kalimantan Barat, area Kalimantan Selatan-Kalimantan-Tengah, dan area Kalimantan Timur-Kalimantan Utara. 2. Pada kasus short circuit dilakukan dengan memberikan gangguan pada bus dan gangguan pada saluran transmisi sistem interkoneksi master plan 500 kV. Simulasi kestabilan transien digunakan untuk menganalisa respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi.

Tabel 3.1 Studi Kasus Kestabilan Transien

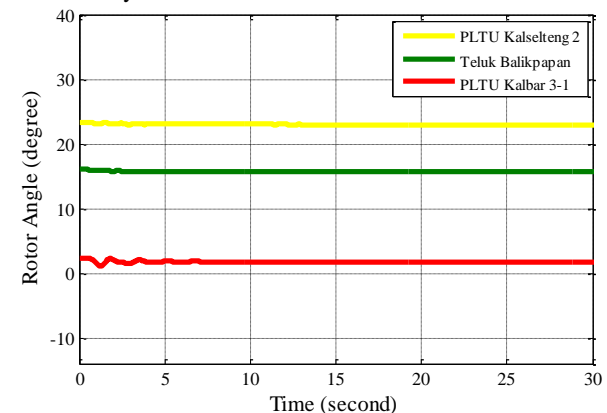
Tahun	Kasus	Keterangan Kasus	Aksi
2023	Kasus 1	1 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalbar 2 <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Generator Outage</i>	Generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sei Raya-Ketapang
2026	Kasus 1	1 <i>Generator Outage</i>	Generator PLTU Kalsel 1 <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Generator Outage</i>	Generator PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) <i>trip</i>
2026	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada bus Tanjung Redep 500 kV
2029	Kasus 1	1 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kaltim 4 <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Samarinda-Bontang
2032	Kasus 1	1 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Genetor Outage</i>	Generator LNG LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Ketapang-Sampit
2035	Kasus 1	1 <i>Genetor Outage</i>	Generator LNG Sei Raya1 <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sampit-Palangkaraya
2040	Kasus 1	1 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Palangkaraya-Banjarmasin

2045	Kasus 1	1 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalbar Cemara 400 MW <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Genetor Outage</i>	Generator Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Bus Ketapang 500 kV
2050	Kasus 1	1 <i>Genetor Outage</i>	Generator Kaltimra Manggar 400 MW <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>trip</i>
2050	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Bus Bontang 500 kV

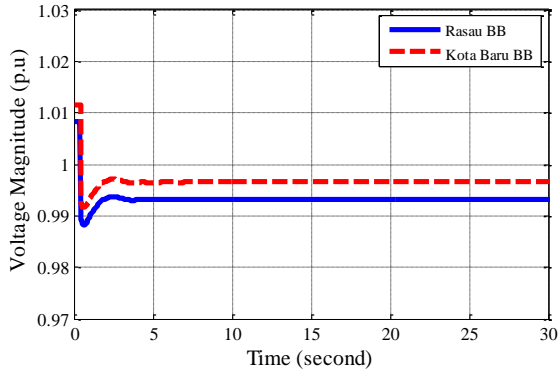
3.1 Simulasi Kestabilan Transien

3.1.1 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 Generator Outage pada PLTU Kalbar 2 Tahun 2023 (t=0,2s)

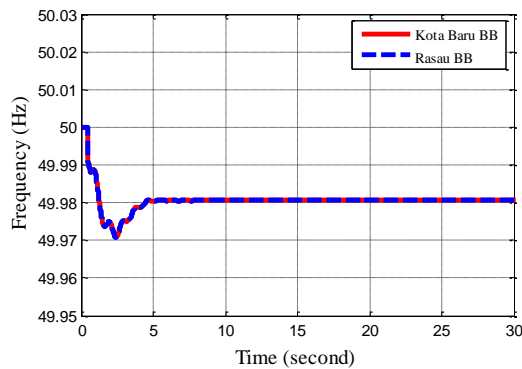
Pada studi kasus PLTU Kalbar 2 trip memiliki kapasitas daya sebesar 100 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 50 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2023 sebesar 2783 MW dengan total beban 2669,6 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 1,79%. Pada Gambar 4.1, ditunjukkan bahwa masing-masing generator mengalami respon sudut rotor yang berbeda-beda. Generator PLTU Kalbar 3-1 merupakan generator yang paling dekat dengan generator trip. Generator PLTU Kalbar 3-1 mengalami perubahan sudut rotor 2,213455 degree menjadi 1,077248 degree dan kembali steady state pada waktu 5,56 detik dengan sudut rotor 1,702771 degree. Pada generator PLTU Kalselteng 2 mengalami perubahan sudut rotor sangat kecil yaitu 23,312769 degree menjadi 23,121203 degree dan kembali steady state pada waktu 3,791667 detik dengan sudut 23,000096 degree. Pada Teluk Balikpapan mengalami perubahan sudut rotor yaitu 16,04509 degree menjadi 15,866022 degree dan kembali steady state pada waktu 2,271667 detik menjadi 15,803919 degree. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kalbar 2 trip sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.



Gambar 3.1 Respon Sudut Rotor Generator Saat PLTU Kalbar 2 Trip



Gambar 3.2 Respon Tegangan Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 Trip



Gambar 3.3 Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 Trip

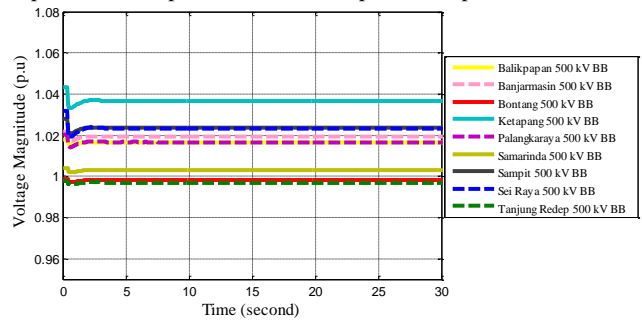
Pada Gambar 4.2, saat PLTU Kalbar 2 trip menunjukkan perubahan respon tegangan pada bus 150 kV. Perubahan tegangan yang diamati pada bus 150 kV yang dekat dengan generator outage. Pada bus Kota Baru mengalami perubahan tegangan dari 1,011614 p.u menjadi 0,994109 p.u pada waktu 0,305 detik dan kembali steady state pada waktu 3,861667 detik dengan tegangan 0,996452 p.u. Pada bus Rasau perubahan tegangan yang terjadi yaitu 1,008183 p.u menjadi 0,990737 p.u dan kembali steady state pada waktu 4,131667 detik dengan tegangan 0,99315 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.

Respon frekuensi pada bus 150 kV yaitu pada bus Kota Baru dan Rasau. Bus Kota baru dan bus Rasau mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,994938 p.u. Perubahan frekuensi yang terjadi pada kedua bus mencapai 49,970741 Hz pada waktu 2,291667 detik. Perubahan frekuensi yang terjadi akan kembali mencapai steady state pada waktu 5,121667 detik dengan frekuensi 49,98051 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator PLTU Kalbar 2 trip masih diperkenankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002. Respon frekuensi pada bus 150 kV saat PLTU Kalbar 3-1 trip dapat dilihat pada Gambar 4.3.

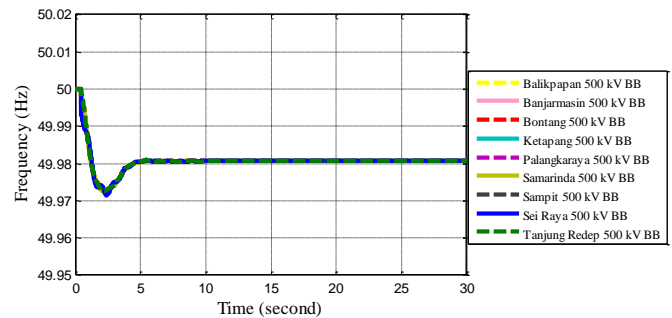
Pada Gambar 4.4, menunjukkan respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalbar 2 trip. Bus yang dijadikan parameter merupakan bus backbone 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 1,01769 p.u menjadi 1,016193 p.u dan kembali steady state pada waktu 2,641667 detik dengan tegangan 1,016569 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,021602 p.u menjadi 1,018612 p.u dan kembali steady state pada

waktu 2,441667 detik dengan tegangan 1,019359 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,998812 p.u menjadi 0,997835 p.u dan kembali steady state pada waktu 1,861667 detik dengan tegangan 0,998154 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,043361 p.u menjadi 1,03517 p.u dan kembali steady state pada waktu 3,251667 detik dengan tegangan 1,036646 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,020107 p.u menjadi 1,015847 p.u dan kembali steady state pada waktu 3,401667 detik dengan tegangan 1,016658 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 1,003837 p.u menjadi 1,002668 p.u dan kembali steady state pada waktu 1,941667 detik dengan tegangan 1,00303 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,027736 p.u menjadi 1,022552 p.u dan kembali steady state pada waktu 2,491667 detik dengan tegangan 1,023736 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 1,03188 p.u menjadi 1,021501 p.u dan kembali steady state pada waktu 2,481667 detik dengan tegangan 1,023758 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,997639 p.u menjadi 0,996715 p.u dan kembali steady state pada waktu 2,011667 detik dengan tegangan 0,99711 p.u.

Respon frekuensi saat generator PLTU Kalbar 2 trip yaitu pada bus 500 kV backbone sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,99 Hz sampai mencapai 49,972545 Hz dan kembali steady state pada waktu 5,691667 detik dengan frekuensi 49,98 Hz. Hasil simulasi respon frekuensi pada bus 500 kV dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 3.4 Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 Trip

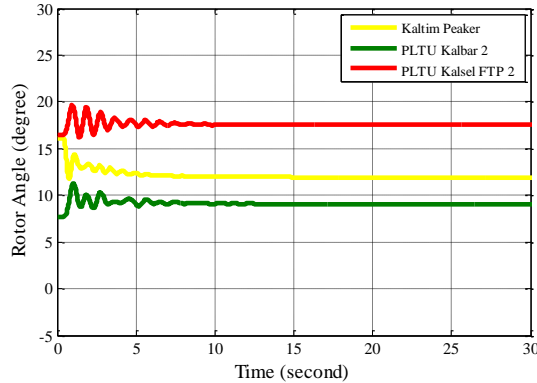


Gambar 3.5 Respon Frekuensi pada Bus Backbone 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 Trip

3.1.2 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 generator outage pada PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) Tahun 2023 (t=0,2s)

Pada studi kasus 2 yaitu dua generator dari PLTU Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) trip dengan kapasitas daya masing-masing sebesar 100 MW dengan daya yang dibangkitkan pada masing-masing generator adalah 70 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun

2023 sebesar 2783 MW dengan total beban 2669,6 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 5,03 %. Pada Gambar 4.6, generator yang dijadikan parameter adalah PLTU Kalbar 2, Kaltim Peaker, dan PLTU Kalsel FTP 2. Respon sudut rotor generator PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut rotor dari 7,686314 degree menjadi 11,24521 degree dan kembali steady state pada waktu 7,771666 detik dengan sudut 9,137853 degree. Pada generator Kaltim Peaker 16,14296 degree menjadi 11,7707 degree dan kembali steady state pada waktu 7,771666 detik dengan sudut 9,137853 degree. Pada PLTU Kalsel FTP 2 mengalami perubahan sudut rotor 16,472935 degree menjadi 19,63371 degree dan kembali steady state pada waktu 9,591666 detik dengan sudut 17,538472 degree.



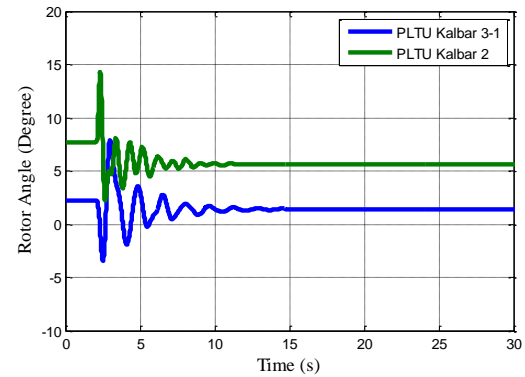
Gambar 3.6 Respon Sudut Rotor saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) Trip

3.1.3 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 Short Circuit Satu Saluran Double Circuit Sei Raya-Ketapang Tahun 2023 (t=2s)

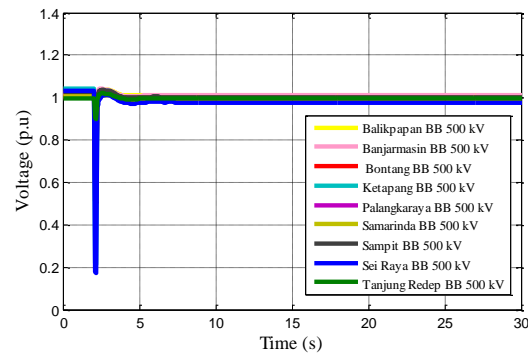
Pada kasus 3 yaitu short circuit satu saluran double circuit pada saluran Sei Raya-Ketapang. Respon sudut rotor pada generator PLTU Kalbar 2 dan Kalbar 3-1 yang merupakan generator yang terdekat dengan bus Sei Raya dan Ketapang. Pada PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut dari 7,686314 degree menjadi 7,701503 degree pada waktu 2,005 detik dan kembali steady state pada waktu 13,211666 detik dengan sudut 5,609523 degree. Pada generator PLTU Kalbar 3-1 mengalami perubahan sudut rotor dari 2,213455 degree menjadi 2,210653 degree dan kembali steady state pada waktu 15,601666 detik dengan sudut 1,40932 degree. Respon sudut rotor untuk kasus short circuit satu saluran double circuit Sei Raya-Ketapang ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Pada Gambar 4.8, respon tegangan yang diamati saat short circuit satu saluran double circuit Sei Raya-Ketapang adalah bus 500 kV pada backbone 500 kV. Respon tegangan pada Bus Balikpapan dari 1,01769 p.u menjadi 0,882115 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,461667 detik dengan tegangan 1,012768 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,021602 p.u menjadi 0,742348 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,321667 detik dengan tegangan 1,009396 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,998812 p.u menjadi 0,910948 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,241667 detik dengan tegangan 0,996082 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,043361 p.u menjadi 0,227751 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,361667 detik dengan tegangan 0,999912 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,020107 p.u menjadi 0,614012 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,381667 detik dengan tegangan 1,001009 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 1,003837 p.u menjadi 0,898947 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,281667 detik

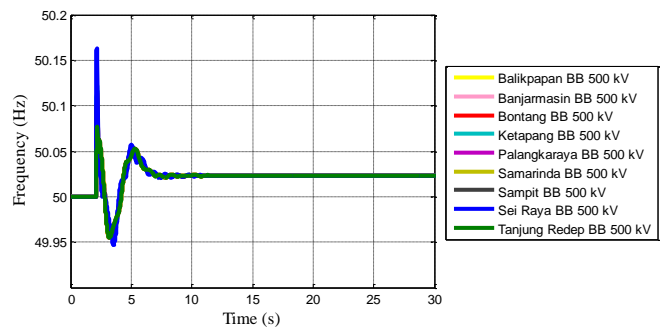
dengan tegangan 1,000411 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,027736 p.u menjadi 0,527619 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,431667 detik dengan tegangan 1,003302 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 1,03188 p.u menjadi 0,190116 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,541667 detik dengan tegangan 0,978211 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,997639 p.u menjadi 0,914321 p.u dan kembali steady state pada waktu 5,241667 detik dengan tegangan 0,995104 p.u.



Gambar 3.7 Respon Sudut Rotor Gangguan Short Circuit pada Satu Saluran Double Circuit Sei Raya-Ketapang



Gambar 3.8 Respon Tegangan Gangguan Short Circuit pada Satu Saluran Double Circuit Sei Raya-Ketapang



Gambar 3.9 Respon Frekuensi Gangguan Short Circuit pada Satu Saluran Double Circuit Sei Raya-Ketapang

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:
 1. Rancangan dan pola operasi sistem kelistrikan Kalimantan menggunakan backbone 500 kV pada tahun 2023-2050 menunjukkan

hasil yang optimal seiring dengan penambahan beban setiap tahunnya.

2. Hasil simulasi berdasarkan kasus generator outage untuk memperoleh analisis sudut rotor terbesar mencapai 43,74773 degree pada generator PLTU Sinar Mas. Untuk analisis respon tegangan dan frekuensi, hasil yang diperoleh masih dalam batas aman. Dapat disimpulkan pengoperasian sistem kelistrikan Kalimantan backbone 500 kV dalam keadaan stabil.

3. Hasil simulasi berdasarkan kasus short circuit pada bus backbone 500 kV mengalami penurunan tegangan dan frekuensi dengan osilasi yang cukup tinggi dan sistem kembali stabil. Short circuit pada saluran dobel sirkit 500 kV dan 150 kV cenderung mengalami osilasi yang kecil sehingga tidak memiliki pengaruh besar pada sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Jena and M. T. Scholar, "Load Flow Analysis And Optimal Allocation of SVC In Nine Bus Power System," *2018 Technol. Smart-City Energy Secur. Power*, pp. 1–5, 2018.
- [2] M. Singh, S. Mishra, S. Ralhan, and B. C. Rao, "Improving Stability in Power System Network Using Tuned Controller," *2017 Recent Dev. Control. Autom. Power Eng.*, vol. 3, pp. 3–7, 2017.
- [3] I. J. T. F. on S. T. and Definitions, "Definition and Classification of Power System Stability," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 2, pp. 1387–1401, 2004.
- [4] M. Hammad and A. Harb, "Static Analysis for Voltage Stability of the Northern Jordanian Power System," *2018 9th Internaitonal Renew. Energy Congr.*, pp. 1–5, 2018.
- [5] I. R. Kusuma, A. P. System, and S. Requirement, "Transient Stability Analysis of General Cargo Shipboard Power System," *2017 Int. Conf. Adv. Mechatronics, Intell. Manuf. Ind. Autom.*, pp. 171–175, 2017.
- [6] H. Huang, Z. Xu, W. Wang, and C. Wang, "Transient stability analysis of Shanghai Power Grid with multiple HVDC links," *Power Syst. Technol.*, pp. 1–6, 2010.
- [7] S. Zadkhast, J. Jatskevich, and E. Vaahedi, "A Multi-Decomposition Approach for Accelerated Time-Domain Simulation of Transient Stability Problems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 5, pp. 2301–2311, 2015.
- [8] F. Su, B. Zhang, S. Yang, and H. Wang, "A Novel Termination Algorithm of Time Domain Simulation for Power System Transient Stability Analysis Based on Phase-plane Trajectory Geometrical Characteristic," *5th Int. confrence Electr. Util. Deregul. an restruturing power Technol.*, p. 5, 2015.
- [9] R. Faizal, M. Nurdin, R. Faizal, and S. Pack, "Sumatra-Java HVDC Transmission System Modelling And System Impact Analysis," *PowerTech*, 2015.