

Analisis Kestabilan Pada Sistem Transmisi Kelistrikan Kalimantan 500kV AC/DC Menggunakan Analisis Modal

¹Gita Dwiperмата Sari, ²Ardyono Priyadi, ³Imam Robandi

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
E-mail: ¹gita.dwi8795@gmail.com, ²priyadi@ee.its.ac.id, ³robandi@ee.its.ac.id

1. PENDAHULUAN

Abstrak—Indonesia merupakan negara berkembang yang masih membutuhkan daya listrik sampai waktu mendatang. Seperti Pulau Kalimantan yang menjadi salah satu pulau yang mempunyai peran penting pada perekonomian Indonesia sehingga daya listrik di Pulau Kalimantan juga akan terus bertambah sehingga direncanakan penambahan saluran transmisi 500kV AC/DC mulai tahun 2027-2050. Maka dari itu, diperlukan studi stabilitas daya pada bus 500kV AC/DC untuk penambahan pembangkit baru agar beban yang dibutuhkan tetap tersedia serta keseimbangan kapasitas sistem tetap stabil. Bus AC digunakan untuk transfer daya dari Kalimantan Timur dan Utara ke Kalimantan Selatan. Bus DC untuk transfer daya dari Kalimantan Selatan dan Tengah menuju Kalimantan Barat. Studi stabilitas daya pada sistem ini menggunakan metode Analisis Modal. Hasil simulasi akibat penambahan beban dan pembangkitan daya setiap tahun diperoleh *eigenvalue* yang mempunyai nilai $-0,081+j4,669$, frekuensi 0,743 Hz dan rasio redaman 1,7%.

Kata Kunci—*Eigenvalue*, kestabilan, modal analysis, small signal stability

Abstract – *Indonesia is a developing country that still needs electricity until future. Like Kalimantan Island which became one of the islands that have an important role in Indonesia economy so that electric power in Kalimantan Island will also continue to grow so it is planned to add 500kV AC / DC transmission line from 2027-2050. Therefore, a power stability study of the 500kV AC / DC bus is required for the addition of new plants to allow the required loads to remain available and the balance of system capacity remains stable. AC bus is used for power transfer from East and North Kalimantan to South Kalimantan. DC bus for power transfer from South and Central Kalimantan to West Kalimantan. The study of power stability on this system using Modal Analysis method. Simulation results due to the addition of load and power generation each year obtained stable results and eigenvalue of $-0.081 + j4,669$, frequency 0.743 Hz and the smallest attenuation ratio of 1.7%.*

Keywords: *modal analysis, stability, eigenvalue, damping ratio.*

Dinamika kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat, mulai dari segi produksi, konsumsi, dan industri. Seperti Pulau Kalimantan yang menjadi salah satu pulau yang mempunyai peran penting pada perekonomian Indonesia sehingga daya listrik di Pulau Kalimantan juga akan terus. Hal ini terjadi karena kebutuhan manusia mempunyai pola yang berkembang dengan teknologi dan industri sehingga selaras dengan pertumbuhan kebutuhan listrik untuk terus memproduksi listrik dalam jumlah besar. Sehingga akibat peningkatan beban dalam sistem tenaga listrik, aman dan andal pengoperasian sistem tenaga menjadi dominan masalah untuk operator sistem [1]–[3]. Pentingnya analisa kestabilan sistem yaitu mengetahui kemampuan sistem untuk tetap dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan atau kembali ke keadaan normal setelah terjadi gangguan [4]. Analisa kestabilan dapat diketahui dengan menggunakan software yang sudah tersedia, seperti DigSILENT. Digsilent dapat digunakan untuk mengetahui stabilitas sistem dengan nilai eigen dan simulasi domain waktu terhadap pembangkitan yang dioperasikan penuh [5]. Software ini dapat menganalisa sistem kestabilan dengan metode analisis modal.

Dengan metode analisis modal akan diterapkan pada tugas akhir ini yang membahas sistem kelistrikan Kalimantan. Pada Pulau Kalimantan saluran Transmisi di Kalimantan meliputi, Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara (Kaltimra), Kalimantan Bara (Kalbar)t, Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah (Kalseteng), seperti yang disebutkan di RUPTL masih berupa interkoneksi backbone 150kV [6]. Maka dari itu, untuk mengikuti pertumbuhan konsumsi listrik yang terus berkembang diperlukan pembangunan pembangkitan saluran transmisi 500kV AC/DC. Kestabilan 500kV DC dengan menggunakan Analisis Modal (*Small Signal Stability*) yang menghubungkan *backbone* antara Kalimantan Barat (Sei Raya, Putussibau), Kalimantan Utara (Kayan Hulu), Kalimantan Timur (Long Apari, Tanjung Redep, Bontang, Samarinda, Balikpapan), Kalimantan Selatan (Banjarmasin) dan

Kalimantan Selatan (Banjarmasin) serta terhubung 500kV AC ke Kalimantan Tengah (Palangkaraya). eksitasi berlebihan pada generator, pengaturna beban apasitif yang berlebihan, dan juga sambaran petir pada saluran transmisi.

Sistem ini direncanakan sampai tahun 2050 mendatang, sehingga kasusnya terjadi penambahan beban dan kapasitas pembeban yang terus meningkat menjadi kasus dengan metode analisis modal ini. Selain itu dapat mengetahui hasil kestabilan dalam domain waktu ketika terjadi gangguan hubung singkat pada salah satu saluran DC.

Dengan menggunakan metode di atas, pada sistem ini menggunakan metode Analisis Modal akibat penambahan beban dan pembangkitan daya setiap tahun diperoleh *eigenvalue* yang mempunyai nilai $0,081 + j4,669$, frekuensi 0,743 Hz dan rasio redaman 1,7% yang masih dalam batas rasio redaman.

2. KESTABILAN SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Kestabilan [7]

Kestabilan merupakan kemampuan sistem untuk tetap dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan atau kembali ke keadaan normal setelah terjadi gangguan.

Klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga, yaitu [8] :

1. Kestabilan sudut rotor
2. Kestabilan frekuensi
3. Kestabilan tegangan

2.1.1 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan mesin mesin pada sistem tenaga yang saling interkoneksi untuk tetap mempertahankan kondisi seimbang (sinkron) setelah terjadi gangguan. Gangguan yang menyebabkan sistem tidak stabil ini berpengaruh pada keseimbangan antar torsi elektromagnetik dan torsi mekanik disetiap mesin listrik. Hal ini dapat menaibatkan perubahan kecepatan sudut ayunan pada generator sehingga hilang kendaliterhadap generator lain. Fenomena ini disebabkan oleh daya output dari generator berubah sesuai sudut rotoo yang berubah juga. [7]

2.1.2 Kestabilan Tegangan [9]

Kestabilan tegangan merupakan kemampuan dari sistem tenaga listrik dalam mempertahankan kondisi tegangan untuk tetap stabil pada semua bus saat terjadi gangguan. Gangguan ini dapat mengakibatkan kenaikan ataupun penurunan tegangan. Ketika terjadi kenaikan tegangan arus yang mengalir pada sistem tenaga meningkat sehingga menyebabkan rugi-rugi daya mengalami oeningkatan. Hal ini menyebabkan pedeknya umur peralatan. Peningkatan tegangan disebabkan oleh

2.1.3 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi adalah kemampuan sistem untuk bisa mempertahankan frekuensi agar tetap stabil ketika terjadi gangguan yang mengakibatkan ketidakseimbangan anantara daya yang dibangkitkan oleh pembangkit dengan daya yang diserap oleh beban. Kestabilan frekuensi berkaitan dengan ketidakmampuan dari respon peralatan listrik, kordinasi dari peralatan kontrol yang kurang baik, dan daya cadangan pembangkitan (*spining reserve*) yang kurang.

2.2 Analisis Modal [10]

DIGSILENT PowerFactory memiliki modul analisis stabilitas sinyal kecil pada sistem tenaga listrik dengan menggunakan analisis *eigenvalue* yang sesuai untuk representasi sistem yang seimbang. Analisis perhitungan mempertimbangkan mode osilasi pada sistem. Analisis ini dapat digunakan untuk sistem non-konvensional juga seperti turbin angin, sistem PV dan HVDC. Hasil dari analisis ini berupa plot *eigenvalue* yang mencakup informasi tentang osilasi frekuensi, redaman dan rasio redaman. Analisis Modal menghitung nilai eigen dan vektor eigen dari sistem dinamis multi-mesin termasuk semua pengendali dan model pembangkit listrik. Perhitungan yang menggunakan perhitungan *eigenvalue* juga disebut *small signal stability*.

Gangguan dianggap kecil jika persamaan yang menggambarkan respon yang dihasilkan dari sistem tenaga dapat dilinierisasi untuk tujuan analisis. Ketidakstabilan yang dihasilkan dapat berupa dua bentuk [7]:

- a. Peningkatan *steady state* sudut rotor generator yang karena kekurangan sinkronisasi pada torsi.
- b. Peningkatan osilasi rotor pada amplitudo karena kurang mencukupi dari torsi redaman.

Perhitungan *eigenvalue* dan *eigenvector* yang biasa digunakan dalam studi stabilitas osilasi. Terlebih dahulu diperlukan perhitungan mode osilasi awal. Mode osilasi dari sistem ketika pembangkit dan pengontrolan dalam sistem dinonaktifkan, sehingga semua daya dan tegangan eksitasi konstan. Setelah menentukan mode dampak dari pengontrol dan mode lain dapat diketahui. Analisis modal menghitung sistem A matriks menggunakan perhitungan numerik yaitu iterasi.

Eigenvalue dan *eienvector* adalah alat yang

paling kuat untuk. Pasangan konjugat dari nilai eigen diberikan dengan persamaan ini:

$$\lambda = \sigma_i + j\omega_i \quad (2.1)$$

Dan mode osilasi dikatakan stabil jika nilai real *eigenvalu*nya bernilai negative, maka $\sigma_i < 0$
 Persamaan periode dan rendaman dari mode diberikan adalah sebagai berikut:

$$\tau_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \quad (2.2)$$

$$d_i = -\sigma_i = \frac{1}{T_p} \ln \left\{ \frac{A_n}{A_{n+1}} \right\} \quad (2.3)$$

di mana A_n dan A_{n+1} merupakan amplitudo dari ayunan maximum dan minimum.

Periode osilasi generator lokal biasanya berkisar 0,5-5 Hz. Namun untuk periode osilasi antar area biasanya 5-20x lebih besar dari osilasi generator lokal.

Kontribusi absolut dari generator ke mode osilasi mendapatkan gangguan dapat dihitung dengan:

$$d_i = -\sigma_i = \frac{1}{T_p} \ln \left\{ \frac{A_n}{A_{n+1}} \right\} \quad (2.4)$$

c merupakan diatur dalam satuan vector, $c = [1, \dots, 1]$ di mana sesuai dengan teori gangguan yang membangkitkan semua generator dengan frekuensi yang sama. Unsur-unsur dari eigenvector (ϕ_i) mewakili mode *eigenvalue* i yang menunjukkan aktivitas relatif dari *variable state* ketika keadaan tertentu.

Eigenvector yang bagian kanan (ϕ_i) disebut sebagai : *observability* vector, sedangkan bagian yang kiri mengukur aktifitas *variable state* x dalam mode i sehingga eigenvector kiri disebut “ relative contribution vectors”. Normalisasi dilakukan pada generator yang memiliki kontribusi amplitudo terbesar dengan *factor* relatif kontribusinya sebesar 1 dan -1. Untuk sistem kelistrikan n mesin , generator $n-1$ mode osilasi akan muncul dan kompleks konjuate $n-1$ *eigenvalue* λ_i tidak ditemukan. Kecepatan mekanik ω_i dari n generator akan dideskripsikan seperti ini:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_n \end{bmatrix} = c_1 \begin{bmatrix} \phi_{12} \\ \phi_{22} \\ \dots \\ \phi_{1n} \end{bmatrix} e^{\lambda_1 t} + c_2 \begin{bmatrix} \phi_{21} \\ \phi_{22} \\ \dots \\ \phi_{1n} \end{bmatrix} e^{\lambda_2 t} + \dots + c_n \begin{bmatrix} \phi_{n1} \\ \phi_{n2} \\ \dots \\ \phi_{nm} \end{bmatrix} e^{\lambda_n t} \quad (2.5)$$

Pada tahu

Masalah penggunaan eigenvector kanan atau kiri digunakan untuk menganailisi generator yang berpartisipasi pada mode i yan bergantung pada skala dan vector. Maka dari itu, eigenvector ϕ_i dan ψ_i adalah kombinasi matrik P dari *factor* partisipan oleh:

$$P_i = \begin{bmatrix} P_{1i} \\ P_{2i} \\ \dots \\ P_{ni} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{1i} \cdot \psi_{i1} \\ \phi_{2i} \cdot \psi_{i2} \\ \dots \\ \phi_{ni} \cdot \psi_{in} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Matrik P_{ij} disebut faktor partisipan. Indikator ini memberi indikasi pada osilasi dinamis. Hal ini menunjukkan dengan mudah untuk menentukan lokasi yan membutuhkan untuk distabilkan gunamempengaruhui redaman sistem agar berkurang. Selanjutnya faktor partisipan dinormalisasikan sehingga penjumlahan semua mode sama dengan 1.

3. DATA Dan METODOLOGI

3.1 Sistem Kelistrikan Kalimantan

Sistem kelistrikan Kalimantan terbagi menjadi 3 area, yaitu Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan dan Tengah, dan Kalimantan Timur dan Utara. Sistem ini interkoneksi 150KV dan rencana akan dibuat *backbone* untuk menghubungkan 3 area tersebut, dengan transmisi AC dan DC dalam rating tegangan 500kV. *Backbone* dengan jarak yang jauh antara Kalimantan Barat (Pontianak, Ketapang), Kalimantan Tengah (Sampit, Palangkaraya) dan Kalimantan Selatan (Banjarmasin) menggunakan sistem 500kV DC. *Backbone* jarak dekat di daerah Kalimantan Timur (Balikpapan, GIS Samarinda, Bontang dan Tanjung Redeb) menggunakan sistem 500kV AC.

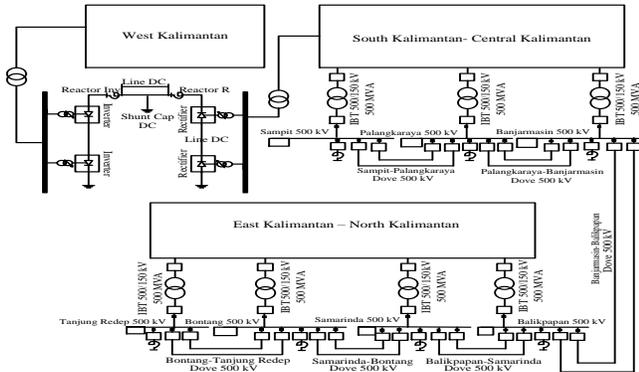
Maka dari itu dengan software Digsilent jalur *backbone* ini dapat dilihat seperti Gambar 3. 1. Sistem ini terus terjadi penambahan pembangkit guna menselaraskan beban yang terus bertambah dari tahun 2027-2050. Analisa yang akan dibahas di Tugas Akhir ini yaitu kestabilan tahun 2027, 2030, 2035, 2040, 2050.

3.2 Metodologi

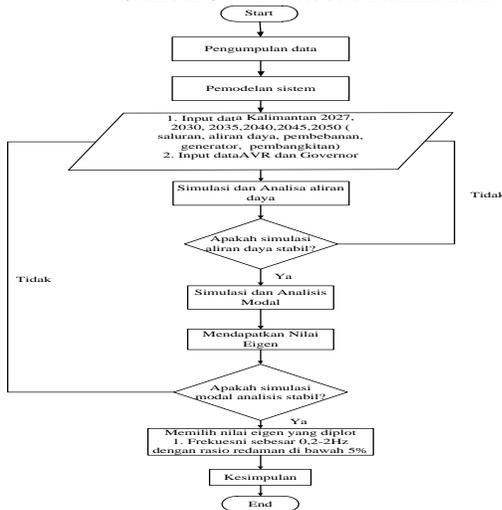
Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan simulasi dibutuhkan sebuah metodologi untuk mengetahui langkah-langkah untuk melakukan simulasi sebelum memasuki tahap simulasi dan analisis. Berikut ini adalah metodologi simulasi yang digunakan untuk tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3. 2

4. SIMULASI DAN ANALISIS

Pada kasus penambahan beban setiap tahunnya sari tahun 2027 sampai tahun 2050 maka di dapatkan rekapilitas nilai eigen pada Tabel 4. 1



Gambar 3. 1 Backbone Kalimantan



Gambar 3. 2 Flowchart metodologi simulasi

Tabel 4. 1 Rekapitulasi *eigenvalue* dengan damping dibawah 5%

Tahun	Mode	Real Part (1/s)	Imajiner Part (rad/s)	Frekuensi (Hz)	Damping Ratio (%)
2027	228	-0.081	4.669	0.743	1.734
	110	-0.404	11.494	1.829	3.510
	104	-0.442	11.377	1.811	3.885
	226	-0.239	6.059	0.964	3.939
	224	-0.260	6.135	0.976	4.226
2030	107	-0.419	11.809	1.879	3.550
	123	-0.461	11.606	1.847	3.967
	273	-0.186	4.322	0.688	4.310
2035	305	-0.141	5.940	0.945	2.37
	303	-0.180	6.284	1.000	2.86
	424	-0.174	5.197	0.827	3.34
	301	-0.237	6.851	1.090	3.45
	179	-0.404	11.494	1.829	3.51
	430	-0.180	4.841	0.770	3.71
	297	-0.341	7.664	1.220	4.45
	299	-0.360	7.597	1.209	4.73
2040	177	-0.545	11.293	1.797	4.82
	289	-0.408	8.277	1.317	4.92
	501	-0.144	4.592	0.731	3.125
	543	-0.133	3.967	0.631	3.340
	327	-0.217	6.333	1.008	3.423
2045	177	-0.408	11.579	1.843	3.522
	499	-0.191	4.915	0.782	3.890
	165	-0.477	11.470	1.826	4.154
	331	-0.242	5.773	0.919	4.191
2040	173	-0.408	11.584	1.844	3.523
	167	-0.446	11.421	1.818	3.903
	392	-0.115	4.236	0.674	2.723
	376	-0.263	6.409	1.020	4.093
2040	192	-0.502	11.562	1.840	4.334
	186	-0.531	11.411	1.816	4.652

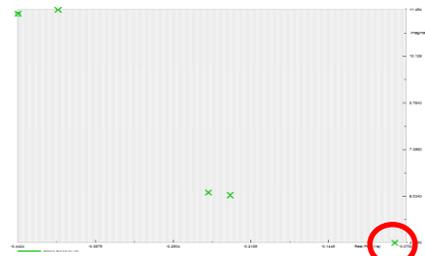
4.2 Analisa Eigenvalue Tahun 2027

Tahun 2027 merupakan tahun pertama dianalisa sistem menggunakan sistem AC/DC. Dari run simulasi didapat *eigenvalue* bernilai negatif di bagian real part dengan jumlah mode 925. Dengan kisaran *damping* 5% dan frekuensi 0,2-2Hz dapat dilihat pada Tabel 4. 2.

Tabel 4. 2 Eigenvalue Sistem Pada Tahun 2027

Mode	Real Part (1/s)	Imajiner Part (rad/s)	Frekuensi (Hz)	Damping Ratio (%)
228	-0.081	4.669	0.743	1.734
110	-0.404	11.494	1.829	3.510
104	-0.442	11.377	1.811	3.885
226	-0.239	6.059	0.964	3.939
224	-0.260	6.135	0.976	4.226

Terlihat pada Gambar 4. 1 bahwa *eigenvalue* yang terplot berwarna hijau semua sehingga dikatakan stabil. Dalam hal ini akan dianalisa mode 228 dan mode 226.



Gambar 4. 1 Eigenvalue Sistem Pada Tahun 2027

4.2.1 Analisa Mode 228

Mode 228 merupakan salah satu mode yang memiliki nilai $-0,081+j4,669$ dengan frekuensi 0,743Hz dan memiliki redaman 1,7%. yang akan dilihat kecepatan dan sudut rotornya dari segi *observability* dan *Participation factor*. Data berikut di tampilkan pada Tabel 4. 3

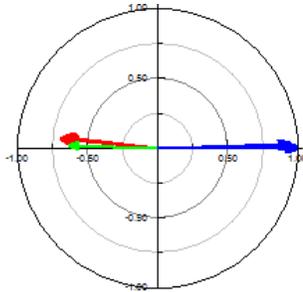
Dari Tabel 4. 3 ketika dilihat dari sisi *observability* sudut rotor dan kecepatan sudut, bahwa yang berpengaruh pada mode ini lebih dari satu area, yaitu melibatkan PLTA Kaltara dan pembangkit di Kalimantan Selatan, sehingga termasuk inter-area. Pembangkit Kaltara mempunyai nilai magnitude yang paling besar sehingga pembangkit itulah yang paling *observable*. Namun pada *observability factor*, dapat dilihat pada Gambar 4. 3 tidak terlalu terlihat diagram vektor karena nilai magnitude yang sangat kecil.

Tabel 4. 3 Observability Mode 228

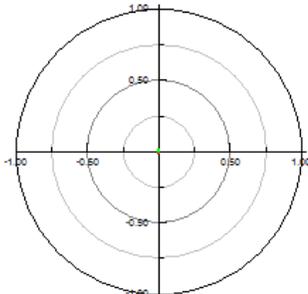
State Variable	Pembangkit	Area	Observability	
			Magnitude	Angle deg.
δ	PLTA Kaltara 1-3	Kaltimra	1	0.224
δ	PLTA Kalselteng 4MT-2	Kalselteng	0.697	174.528
δ	PLTU Kalselteng 2	Kalselteng	0.681	173.077
ω	PLTA Kaltara 1-3	Kaltimra	0.017	89.173
ω	PLTA Kalselteng 4MT-2	Kalselteng	0.008	-9.781
ω	PLTU Kalselteng 2	Kalselteng	0.008	-93.639

Sudut yang terbentuk dalam mode mengartikan bahwa setiap pembangkit saling berpengaruh saat

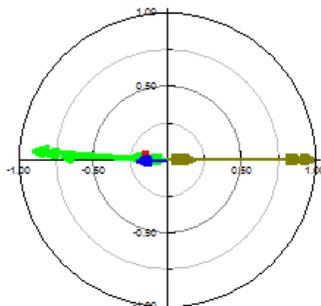
berosilasi. Maka, semakin dekat besar sudutnya, saling yang dilihat pada Gambar 4. 4 vektor yang terlihat sangat berkaitan satu sama lain, semakin jauh berbeda besar jelas. sudutnya maka tidak saling berpengaruh satu sama lain (saling melawan).



Gambar 4. 2 Sudut Rotor Observability Mode 228



Gambar 4. 3 Kecepatan Sudut Rotor Observability Mode 228



Gambar 4. 4 Sudut Rotor dan Kecepatan Participation Factor Mode 228
 Tabel 4. 4 Participation Factor Mode 228

State Variable	Pembangkit	Area	Participation	
			Magnitude	Angle deg.
δ	PLTA Kaltara 1-3	Kaltimra	0.908	176.379
δ	PLTA Kalselteng 4MT-2	Kalselteng	0.254	177.036
ω	PLTA Kaltara 1-3	Kaltimra	1	0
ω	PLTA Kalselteng 4MT-2	Kalselteng	0.191	0.375

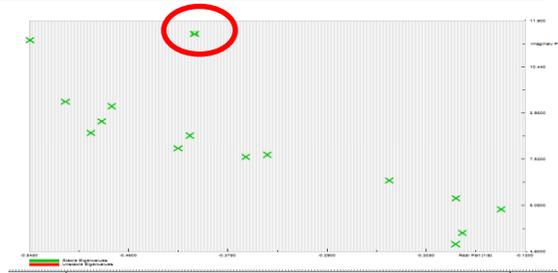
Pada Tabel 4. 4 dilihat bahwa nilai magnitude yang terbesar saat sudut rotor dan kecepatan sudut berada di pembangkit Kaltara, yang disusul dengan pembangkit yang berada di Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah, sehingga mode ini dipengaruhi dari dua area termasuk inter-area. Nilai magnitude yang relative besar, dilihat sisi observability dan participation factor, maka pembangkit pembangkit itulah yang mempengaruhi sebagian besar pada mode ini, seperti

4.2 Analisa Eigenvalue Tahun 2035

Pada tahun 2035 didapatkan eigenvalue yang berjumlah 1159 mode berada di batas stabil karena nilai realpart dari mode bernilai negatif. data ini dapat dilihat pada tabel Tabel 4. 5. Tabel ini diambil dengan kisaran frekuensi 0.2-2Hz dengan damping 5% yang akan dianalisa beberapa mode. Pada gambar terlihat tidak ada eigenvalue yang berwarna merah (tidak stabil). Semua berwarna hijau seperti pada Gambar 4. 5.

Tabel 4. 5 Eigenvalue Sistem Pada Tahun 2035

Mode	Real Part (1/s)	Imajiner Part (rad/s)	Frekuensi (Hz)	Damping Ratio (%)
305	-0.141	5.940	0.945	2.37
303	-0.180	6.284	1.000	2.86
424	-0.174	5.197	0.827	3.34
301	-0.237	6.851	1.090	3.45
179	-0.404	11.494	1.829	3.51
430	-0.180	4.841	0.770	3.71
297	-0.341	7.664	1.220	4.45
299	-0.360	7.597	1.209	4.73
177	-0.545	11.293	1.797	4.82
289	-0.408	8.277	1.317	4.92



Gambar 4. 5 Eigenvalue tahun 2035

4.2.1 Analisis Mode 179

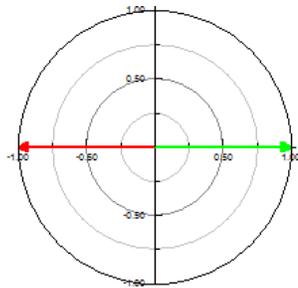
Mode 178 merupakan termasuk dalam mode yang tergolong ke local area. Pembahasan mode ini berada di bawah ini

Tabel 4. 6 Observability Mode 179

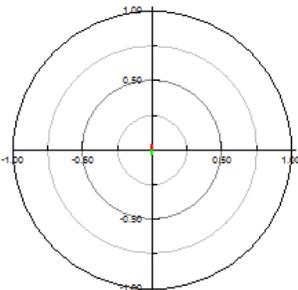
State Variable	Pembangkit	Area	Observability	
			Magnitude	Angle deg.
δ	PLTMG MPP 1	Kaltimra	1	180
δ	PLTMG MPP 2	Kaltimra	1	-6E-12
ω	PLTMG MPP 1	Kaltimra	0.037	-87.989
ω	PLTMG MPP 2	Kaltimra	0.037	92.011

Dari sisi observability ketika sudut rotor dan ketika kecepatan sudut rotor memiliki magnitude terbesar pada di satu area, yaitu area Kalimantan timur dan Kalimantan Utara. Pembangkit MPP 1 memiliki magnitude yang lebih besar daripada PLTMG MPP2 sehingga pembangkit inilah yang paling observable pada mode ini. Dilihat dari sudut yang terbentuk antara PLTMG MPP1 dan PLTMG MPP 2 ketika sudut rotor dan kecepatan sudut memiliki besar sudut yang jauh nilainya, yaitu ada yang negatif dan ada yang bernilai positif, sehingga pembangkit PLTMG

MPP1 dan MPP2 ketika osilasi saling berlawanan seperti yang dilihat pada Gambar 4. 6 Sudut Rotor *Observability Mode 17* Gambar 4. 7 dan Tabel 4. 6



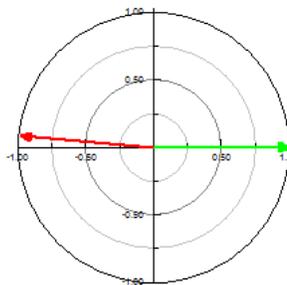
Gambar 4. 6 Sudut Rotor *Observability Mode 179*



Gambar 4. 7 Kecepatan Sudut Rotor *Observability Mode 179*

Tabel 4. 7 *Participation Factor Mode 179*

State Variable	Pembangkit	Area	Participation	
			Magnitude	Angle deg.
δ	PLTMG MPP 1	Kaltimra	0.981	175.050
δ	PLTMG MPP 2	Kaltimra	0.981	175.050
ω	PLTMG MPP 1	Kaltimra	1	0
ω	PLTMG MPP 2	Kaltimra	1	7.401E-08



Gambar 4. 8 Kecepatan dan Sudut Rotor *Participation Factor Mode 179*

Pada partisipan *factor* berbeda dengan observability, di mana pembangkit yang ada memiliki besar *magnitude* yang besar baik di kecepatan sudut rotor maupun sudut rotor. Dan berada dalam satu daerah sehingga disebutkan sebagai lokal area. Pada Gambar 4. 8 dilihat bahwa ada dua gambar vektor yang berwarna hijau yang berada ada sumbu 0 mengartikan sudut yang terbentuk sebesar 0 degree, yaitu pembangkit PLTMG MPP1 dan MPP2 ketika dilihat di sisi kecepatan sudut. Dilihat dari susut yan terbentuk ketika sudut rotor dan

kecepatan sudut, bahwa kedua pembangkit tersebut ketika berosilasi saling mempengaruhi satu sama lain, karena berada di sudut fasa yang hamir berhimpitan. Pada Gambar 4. 8 vektor warna hijau ketika dilihat dari kecepatan sudut, dan warna merah dari sudut rotor pembangkit.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari studi kestabilan sistem kelistrikan Kalimantan adalah:

1. Sistem 500kV AC/DC Kalimantan menunjukan hasil yang stabil selama penambahan beban setiap tahunnya.
2. Sistem Keslistrikan Kalimantan mendapatkan nilai eigen dengan nilai rasio redaman terkecil yaitu $-0,081+j4,669$, frekuensi 0,743 Hz rasio redaman sebesar 1,7%.
3. Nilai eigen yang diperoleh dapat mengetahui pembangkit mana saja yang berkerja lokal area dan inter area dari mode yang diketahui dan pembangkit mana saja yang mempengaruhi pada sistem tersebut.
4. Pada sistem menggunakan HVDC monopolar dikarenakan cukup untuk mentransfer daya 500-1000 MW dari Kalimantan Tengah menuju ke Kalimantan Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Allella and D. Lauria, "Fast optimal dispatch with global transient stability constraint," *Gener. Transm. Distrib.*, vol. 148, no. 5, pp. 471–476, 2001.
- [2] D. Gan, Z. Qu, H. Cai, and X. Wang, "Methodology and computer package for generation rescheduling," pp. 301–307.
- [3] C. X. Dou, J. Yang, X. Li, T. Gui, and Y. Bi, "Decentralized coordinated control for large power system based on transient stability assessment," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 46, no. 1, pp. 153–162, 2013.
- [4] F. M. Gonzalez-Longatt and J. Luis Rueda, *PowerFactory Applications for Power System Analysis*. London: Springer, 2014.
- [5] L. Wang and Y. Lin, "Stability Analysis of an Offshore Wind Farm Connected to Taiwan Power System Using DigSILENT," 2015.
- [6] "RUPTL-PLN-2017-2026." Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia.
- [7] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. California: McGraw-Hill, Inc., 2012.
- [8] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "Definition and Classification of Power System Stability," vol. 19 no 2, no. 3, pp. 1387–1401.
- [9] H. Saadat, "Power System Analysis," *Power System Analysis*, vol. 25, no. 9. MvGraw-Hill, New York, 1998.
- [10] U. Manual, *PowerFactory 15. Tutorial*, Online Edi. Jerman: DigSILENT GmbH, 2013.