

Penentuan *Critical Clearing Time* Untuk Analisis Kestabilan Transien Sistem Kelistrikan Kalimantan 275kV

¹Atiqah Hilmy Raditya, ²Margo Pujiantara, ³Imam Robandi

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

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

Abstrak— Energi listrik masih dibutuhkan Indonesia sampai masa yang akan datang. Pulau Kalimantan adalah salah satu pulau di Indonesia yang memiliki peranan penting dalam perekonomian dan industri, sehingga dibutuhkan pengembangan sistem kelistrikan sesuai dengan kebutuhan beban yang bertambah. Untuk memenuhi daya pada suatu wilayah yang memiliki kekurangan maka dilakukan pengembangan interkoneksi sistem kelistrikan Kalimantan 275 kV dengan jalur transmisi Sei Raya, Ketapang, Sampit, Palangkaraya, Banjarmasin, Balikpapan, Samarinda, Bontang, dan Tanjung Redeb. Dalam proses pengembangan interkoneksi terdapat kendala seperti gangguan sirkuit pendek (short circuit) dan generator lepas yang mempengaruhi kestabilan sistem kelistrikan.

Pada penelitian ini dilakukan analisis pada sistem kelistrikan 275kV Kalimantan untuk menentukan kestabilan sistem. Analisis kestabilan sistem dilakukan dengan menentukan pemadaman waktu kritis (*Critical Clearing Time*) akibat generator lepas dan sirkuit pendek 3 fasa pada saluran Samarinda-Balikpapan. Hasil analisis kestabilan transien akibat sirkuit pendek 3 fasa pada saluran Samarinda-Balikpapan tahun 2022 didapatkan waktu yang bisa dipertahankan kestabilannya yaitu 0,990 detik dan waktu tidak stabil yaitu 0,991 detik. Tahun 2024 didapatkan waktu yang bisa dipertahankan kestabilannya yaitu 0,220 detik dan waktu tidak stabil yaitu 0,221 detik. Sedangkan Tahun 2026 didapatkan waktu yang bisa dipertahankan kestabilannya yaitu 1,720 detik dan waktu tidak stabil yaitu 1,721 detik. Hasil gangguan akibat generator lepas yaitu seluruh sistem dalam keadaan stabil, karena respon sudut rotor, respon frekuensi, dan respon tegangan masih dalam batas standard.

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

Abstract – Electrical energy is still needed Indonesia until the future. Kalimantan island is one of the islands in Indonesia that has an important role in the economy and industry, so it needs the development of electrical systems in accordance with the needs of increased load. To fulfill the power in an area with deficiency, the development of 275 kV interconnection system of 275 kV electricity system with transmission line of Sei Raya, Ketapang, Sampit, Palangkaraya, Banjarmasin, Balikpapan, Samarinda, Bontang and Tanjung Redeb. In the process of conveying interconnection there are constraints such as short circuit breakdown (short circuit) and freelance generator that affect the stability of electrical system.

In this research, an analysis of 275kV Kalimantan's electrical system is used to determine the stability of the system. System stability analysis is performed by determining Critical

Clearing Time due to freelance generator and 3 phase short circuit on Samarinda-Balikpapan channel. The result of transient stability analysis due to short circuit of 3 phase on Samarinda-Balikpapan channel in 2022 found time that can be maintained its stability is 1,240 seconds and time unstable is 1,241 second. Year 2024 obtained a time that can be maintained stability is 1.490 seconds and unstable time is 1.491 seconds. While Year 2026 obtained time that can be maintained stability is 1.720 seconds and time is not stable that is 1.721 seconds. The result of the disruption caused by the loose generator is that the whole system is stable, because the rotor angle response, the frequency response, and the voltage response are still within the standard range.

Keywords: *Transient stability, Critical Clearing Time, Kalimantan Electrical System.*

1. PENDAHULUAN

PLN sebagai perusahaan listrik terbesar di Indonesia melakukan pengembangan sistem kelistrikan untuk memenuhi kebutuhan beban yang terus bertambah khususnya di Pulau Kalimantan. Dengan demikian PLN menyediakan listrik dari pembangkit-pembangkit yang letaknya berjauhan satu sama lain. Untuk memenuhi daya pada suatu wilayah yang mengalami kekurangan maka dilakukan interkoneksi antara beberapa wilayah yang memiliki kelebihan daya, namun dalam prosesnya masih terdapat beberapa kendala yang dapat mengganggu penyaluran tenaga listrik ke konsumen [1]. Sistem dapat terkena gangguan secara tiba-tiba ketika dalam keadaan steady. Gangguan tersebut dapat berupa gangguan besar atau gangguan kecil. Gangguan besar dapat disebabkan karena perubahan beban yang besar secara tiba-tiba, dan hilangnya unit pembangkit [2]. Sehingga sistem tenaga listrik tersebut harus dijaga kestabilannya dengan mempertimbangkan beberapa parameter kestabilan sistem tenaga, diantaranya kestabilan tegangan, kestabilan frekuensi, dan kestabilan sudut rotor.

Kestabilan sistem tenaga adalah kemampuan generator pada sistem tenaga listrik untuk dapat kembali ke kondisi awal setelah diberikan gangguan fisik. Definisi ini dapat diaplikasikan untuk sistem interkoneksi secara keseluruhan [3]. Pada sistem kestabilan terdapat beberapa generator sinkron yang saling berhubungan untuk menjaga sinkronisme satu sama lain. Ketika terdapat penambahan beban atau pengurangan beban secara mendadak, maka generator menjadi tidak stabil. Hal tersebut dikarenakan rotor berputar menjadi sangat cepat atau sangat lambat untuk menghasilkan tegangan dan frekuensi yang sesuai dengan sistem. Sehingga terdapat slip antara medan stator dan medan rotor yang menghasilkan fluktuasi yang besar pada output sistem [4]. Jika tidak segera ditindak, generator akan mengalami lepas sinkron. Setelah generator dilepas, beban akan dilimpahkan pada generator lain. Jika generator lain tidak sanggup menanggung beban, maka sistem akan mengalami pemadaman.

Dengan demikian sistem akan berubah dari kondisi lama ke kondisi baru akibat adanya perubahan kerja pada sistem atau disebut dengan kondisi transien [5].

Menurut Definition and Classification of Power System Stability IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, kestabilan dapat dibedakan menjadi tiga yaitu, kestabilan tegangan, dan kestabilan frekuensi, kestabilan sudut rotor. Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan sistem tenaga dalam mempertahankan frekuensi yang tetap setelah mengalami gangguan yang besar akibat ketidakseimbangan antara generator dan beban. Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan mesin sinkron agar tetap sinkron setelah mengalami gangguan yang tergantung pada kemampuan untuk menjaga atau mengembalikan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik dalam sistem. Kestabilan sudut rotor dapat dibagi menjadi dua yaitu kestabilan akibat gangguan kecil dan kestabilan akibat gangguan besar atau kestabilan transient [6]. Kestabilan tegangan dapat diartikan bahwa tegangan pada sistem dapat mempertahankan kestabilannya setelah terkena gangguan kecil atau besar. Berdasarkan ukuran gangguan, kestabilan tegangan dapat dibedakan menjadi kestabilan tegangan statis dan kestabilan tegangan besar. Kestabilan tegangan statis yaitu tegangan sistem dapat kembali ke keadaan stabil setelah terjadi gangguan kecil yang tidak menyebabkan voltage collapse [7-8].

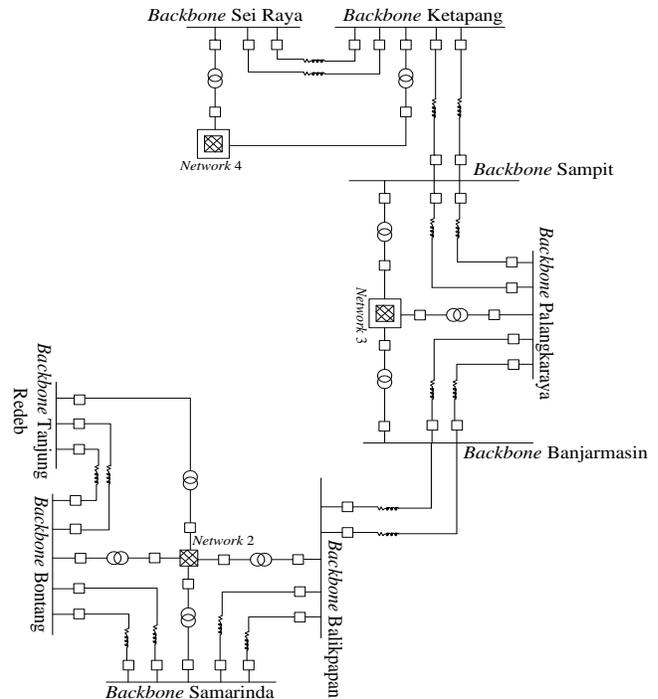
Kestabilan transien yaitu kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga mesin dalam keadaan sinkron akibat gangguan-gangguan yang besar [9-10]. Penelitian mengenai kestabilan transien sangat penting dalam perencanaan sistem. Kestabilan transien disebabkan oleh gangguan besar misalnya hubung singkat yang harus diperhatikan dalam suatu sistem tenaga. Waktu pemadaman kritis (Critical Clearing Time CCT) digunakan untuk memberikan batas kestabilan transien ketika terjadi gangguan. Ketika sistem terjadi gangguan, maka CCT akan membedakan kondisi sistem saat stabil dan tidak stabil. CCT sangat penting untuk diperhatikan untuk menghindari pemadaman sistem karena gangguan dapat mengakibatkan berubahnya sudut rotor pada generator hingga hilangnya sinkronisme pada mesin [11]. Terdapat kriteria yang harus dipenuhi sistem pada kestabilan transien, yaitu [12]: relative power angle dari dua generator tidak lebih dari 180 derajat dan apabila terjadi osilasi harus diredam, tegangan pada bus harus di atas 0.8 p.u setelah gangguan dihilangkan dan tidak di bawah 0.75 p.u selama lebih dari 1 detik, dan frekuensi sistem tidak boleh di bawah 47 Hz selama lebih dari 0.5 detik.

Kondisi awal sistem dan tingkat keparahan gangguan akan mempengaruhi kestabilan, namun sistem dirancang dan dioperasikan agar stabil untuk beberapa macam gangguan yang dipilih. Oleh karena itu, untuk menentukan kestabilan sistem tersebut pada penelitian ini akan dilakukan analisis kestabilan transient pada sistem kelistrikan 275kV Kalimantan dengan menentukan waktu pemadaman kritis (Critical Clearing Time, CCT) akibat hubung singkat 3 fasa dan generator lepas. Setelah itu dianalisis pengaruhnya terhadap kestabilan rotor, tegangan, dan frekuensi. Setelah ditentukan CCT maka dapat ditentukan waktu untuk CB (Circuit Breaker) terbuka setelah mendeteksi gangguan. Penelitian dimulai dari pengumpulan data-data dari RUPTL PT. PLN Persero tahun 2017-2026 yang diperlukan untuk analisis. Kemudian membuat single line diagram menggunakan software ETAP dan melakukan simulasi hubung singkat pada saluran backbone 275 kV dan simulasi generator outage untuk kestabilan transien.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Sistem Kelistrikan Kalimantan

Sistem kelistrikan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah sistem transmisi Kalimantan 275 kV yang terdiri dari pembangkit, gardu induk, dan saluran transmisi tahun 2022, 2024, dan 2026 setelah pembangunan yang dimulai pada tahun 2017. Sistem transmisi tersebut melewati jalur Sei Raya, Ketapang, Sampit, Palangkaraya, Banjarmasin, Balikpapan, backbone Samarinda, Bontang, dan Tanjung Redeb. Pada gambar 3.1 adalah single line diagram sistem kelistrikan di Sumatera Utara. Di bawah ini merupakan single line diagram Kalimantan tahun 2017-2026:



Gambar 2.1 Single Line Diagram backbone Kalimantan 275 kV

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

1. Persiapan dan Studi Literatur

Tahap awal dalam penelitian ini adalah mencari literatur terbaru mengenai penelitian yang akan dilakukan ini seperti, kestabilan pada sistem tenaga listrik, metode pelepasan beban, gangguan hubung singkat. Selain itu dilakukan pengkajian terhadap penelitian yang serupa dengan penelitian yang akan dikerjakan ini dan dapat mengadopsi atau mengembangkannya.

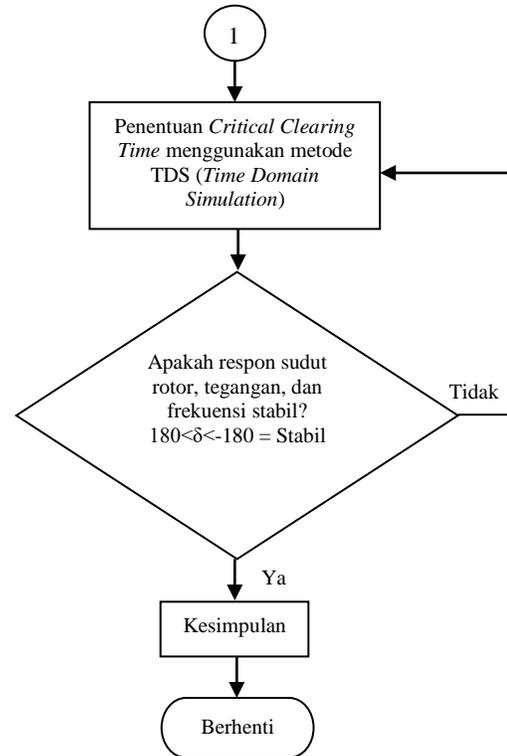
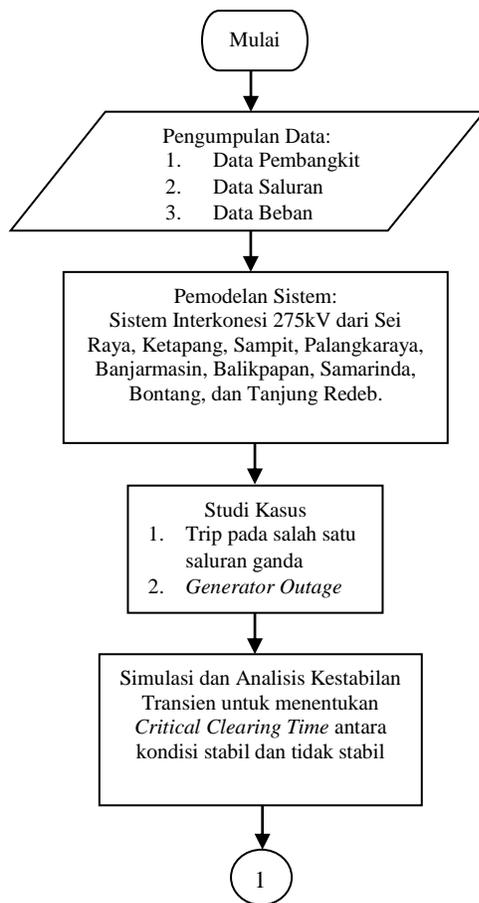
2. Pengumpulan Data

Mengumpulkan semua data yang dibutuhkan mulai dari single line diagram, data peralatan, data beban, dan sebagainya yang menunjang sistem kelistrikan Kalimantan Menurut tahun 2017-2026.

3. Simulasi system

Melakukan simulasi terhadap single line diagram sistem kelistrikan 275kV Kalimantan dan melakukan analisis kestabilan transien menggunakan software ETAP 12.6 untuk mengetahui respon dari sudut rotor, frekuensi, dan tegangan. Kemudian respon tersebut digunakan untuk menentukan Critical Clearing Time dengan membukanya circuit breaker pada bus .

4. Analisis Data
 Setelah disimulasi, langkah selanjutnya adalah menganalisa data yang terdiri dari respon sudut rotor, respon frekuensi, dan tegangan.
5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir
 Tahap akhir pada penelitian ini adalah penyusunan laporan tugas akhir dengan memasukkan semua data-data yang telah diteliti hingga menarik kesimpulan sesuai dengan kondisi dan memberikan rekomendasi setting waktu kapan Circuit Breaker harus terbuka setelah mendeteksi gangguan pada Sistem Kelistrikan Kalimantan tahun 2017-2026.
 Gambar 3.1 merupakan diagram alir metode yang akan dilakukan pada tugas akhir ini.



Gambar 2.2 Diagram Alir Metode

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Studi Kasus Kestabilan Transien Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kV

Setelah memodelkan dan menyederhanakan sistem kelistrikan Kalimantan 275kV tahun 2022, 2024, dan 2026 dengan menggunakan software ETAP dalam bentuk single line diagram, langkah yang dilakukan selanjutnya ialah melakukan simulasi kestabilan transien dengan gangguan yang diberikan yaitu hubung singkat pada saluran 275kV. Analisa yang didapat dari simulasi ini adalah analisa respon sudut rotor generator, frekuensi, dan tegangan pada bus. Setelah melakukan simulasi transien dengan gangguan hubung singkat, maka langkah selanjutnya adalah menentukan nilai critical clearing time dengan membukanya circuit breaker pada salah satu saluran dari dua saluran ganda pada bus 275kV menggunakan metode time domain simulation. Studi kasus yang kedua adalah dilakukan simulasi transien akibat generator lepas yaitu dengan melepas salah satu generator dan melihat respon sudut rotor, frekuensi, dan tegangan pada generator yang masih aktif.

3.2 Metode Time Domain Simulation

Metode time domain simulation memudahkan untuk menganalisa kestabilan transien yaitu sudut rotor, frekuensi, dan tegangan. Pada metode ini hasil simulasi dapat kita ketahui dengan mudah dalam bentuk grafik degree terhadap waktu, % frekuensi terhadap waktu, dan % tegangan terhadap waktu. Terdapat dua kemungkinan kondisi atau keadaan setelah gangguan pada respon sudut rotor, frekuensi, dan tegangan, yaitu kondisi stabil dan tidak stabil. Penentuan critical clearing time adalah dengan cara menentukan waktu terakhir dari membukanya circuit breaker sebelum beralih ke kondisi tidak stabil.

Untuk menentukan critical clearing time menggunakan metode ini, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan waktu pemulihan pertama melihat respon sudut rotor, frekuensi, dan tegangannya. Apabila sistem masih dalam kondisi stabil, maka waktu pemutusan diperlambat dan apabila sistem tidak stabil, maka waktu pemutusan diperlambat. Kemudian lihat respon sudut rotor, frekuensi, dan tegangan. Ulangi langkah-langkah tersebut hingga ditemukan nilai critical clearing time hingga waktu 5 detik. Jika tidak dapat ditemukan kondisi stabil atau tidak stabil maka nilai critical clearing time juga tidak dapat ditemukan.

3.3 Simulasi Critical Clearing Time

Simulasi dilakukan pada bus backbone yang memiliki arus hubung singkat 3 fasa terbesar dan gangguan diberikan pada saluran backbone 275kV kemudian diikuti dengan lepasnya saluran tunggal dari saluran ganda. Pada saluran ganda tersebut hanya satu saluran yang diberikan gangguan hubung singkat 3 fasa. Setelah itu dilihat repon sudur rotor, frekuensi, dan tegangan terhadap waktu. Pada studi kasus ini gangguan hubung singkat diberikan pada detik ke 1. Sudut rotor dikatakan stabil apabila respon sudut rotor setelah mengalami perubahan dapat kembali ke keadaan steady state dan sudut rotor tidak stabil apabila perubahannya naik secara signifikan dan tidak kembali ke keadaan steady state. Untuk respon frekuensi perubahannya masih dalam range sesuai dengan standar IEEE Std C37.106-2003. Sedangkan untuk tegangan mengacu pada standar PLN. Berikut merupakan data hasil simulasi untuk mengetahui arus hubung singkat 3 fasa terbesar pada bus :

Tabel 3.1 Hubung Singkat 3 fasa pada bus backbone

Bus	Isc 3 fasa		
	2022	2024	2026
Backbone Sei Raya	6,7 kA	6,8 kA	6,9 kA
Backbone Ketapang	6,5 kA	6,8 kA	6,9 kA
Backbone Sampit	8,2 kA	8,8 kA	9 kA
Backbone Palangkaraya	8,9 kA	9,2 kA	9,4 kA
Backbone Banjarmasin	10,4 kA	10,4 kA	10,5 kA
Backbone Balikpapan	12,1 kA	12,2 kA	12,3 kA
Backbone Samarinda	13,8 kA	13,9 kA	14 kA
Backbone Bontang	12,0 kA	12,0 kA	12,1 kA
Backbone Tanjung Redeb	8,5 kA	8,5 kA	8,6 kA

Berdasarkan tabel tersebut dapat ditentukan untuk setiap tahunnya dilakukan simulasi pada Backbone dengan gangguan hubung singkat 3 fasa pada saluran yang menghubungkan antara Backbone Samarinda dengan Backbone Balikpapan.

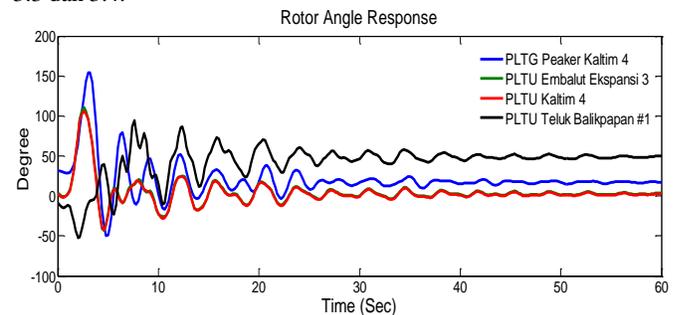
3.3.1 Simulasi CCT Saluran Backbone Samarinda-Backbone Balikpapan Tahun 2022

Pada tahun 2022 ini dilakukan simulasi CCT dengan gangguan hubung singkat pada saluran yang terhubung dengan bus backbone yang memiliki nilai arus hubung singkat terbesar. Pada studi kasus ini pada salah satu saluran dari saluran ganda Samarinda ke Balikpapan. Kemudian salah satu saluran dilepas. Generator yang diperhatikan adalah generator dengan daya terbesar dan berada dekat dengan bus Kalitimra yaitu, PLTG Peaker Kaltim 4, PLTU Embalut Ekspansi 3, PLTU Kaltim 4 #1, dan PLTU Teluk Balikpapan.

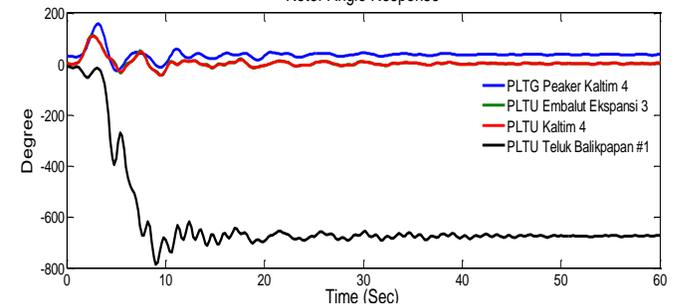
Waktu pemutusan kritis didapatkan dengan menggunakan metode Time Domain Simulation antara t=0,990 dan t=0,991 detik.

Hasil simulasi kondisi stabil ditunjukkan pada gambar 3.1. Kondisi stabil pada seluruh generator ketika t=0.990 detik karena sudut rotor rotor berosilasi namun kurang dari sudut 180 derajat kemudian kembali ke keadaan steady.

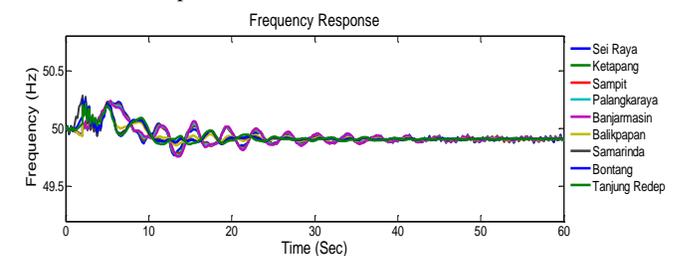
Hasil simulasi kondisi tidak stabil kritis ditunjukkan pada gambar 3.2. Kondisi tidak stabil stabil ketika t=0,991 detik karena sudut rotor pada generator PLTU Teluk Balikpapan berosilasi lebih dari -180 derajat dan tidak kembali ke keadaan steady dan sudah membahayakan generator tersebut. Sedangkan generator PLTU Embalut Ekspansi 3, PLTU Kaltim 4 #1, dan PLTG Peaker Kaltim 4 dalam keadaan stabil. Setelah diamati sudut rotor pada generator PLTG Peaker Kaltim 4, PLTU Embalut Ekspansi 3, PLTU Kaltim 4 #1, dan PLTU Teluk Balikpapan, langkah selanjutnya adalah mengamati respon frekuensi dan tegangan pada bus Backbone. Ketika t=0,990 detik dan t=0,991 detik frekuensi mengalami osilasi dalam keadaan yang aman sesuai dengan standar frekuensi yaitu IEEE Std C37.106-2003. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 3.3 dan 3.4.



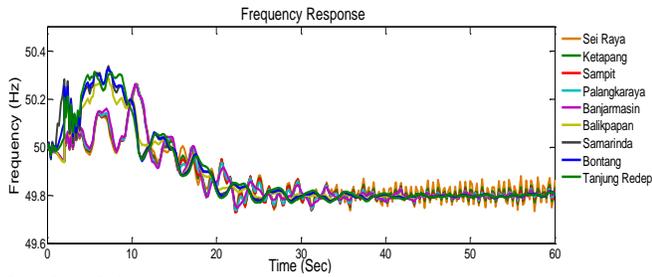
Gambar 3.1 Respon Sudut Rotor Stabil Tahun 2022



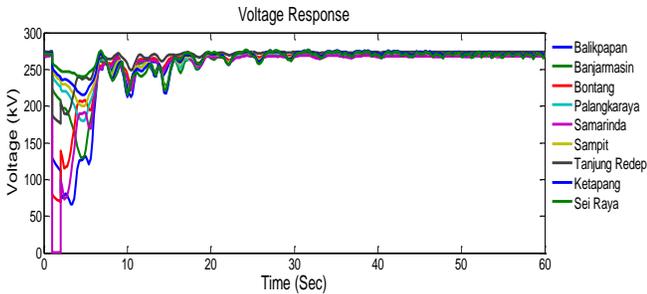
Gambar 3.2 Respon Sudut Rotor Tidak Stabil Kritis Tahun 2022



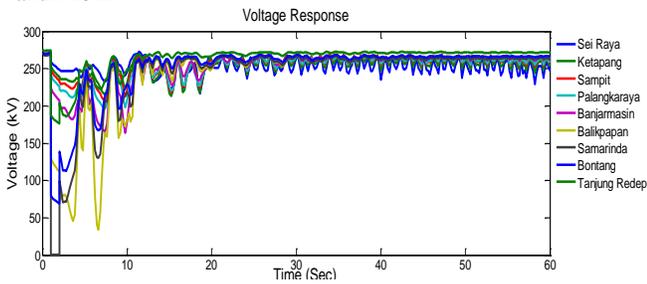
Gambar 3.3 Respon Frekuensi 0,990s di Bus Backbone Samarinda Tahun 2022



Gambar 3.4 Respon Frekuensi 0,991s di Bus Backbone Samarinda Tahun 2022



Gambar 3.5 Respon Tegangan 0,990s di Bus Backbone Samarinda Tahun 2022



Gambar 3.6 Respon Tegangan 0,991s di Bus Backbone Samarinda Tahun 2022

Hasil simulasi pada gambar 3.5 dan 3.6 menunjukkan hasil pengamatan respon tegangan setelah diamati respon frekuensi pada bus Samarinda. Ketika $t=0,990$ dan $t=0,991$ detik tegangan berada pada kondisi yang diperbolehkan karena setelah mengalami osilasi kembali pada keadaan steady.

3.4 Simulasi Generator Outage

Pada studi kasus generator outage dilakukan pelepasan pembangkit pada detik ke 1, maka sistem akan kehilangan daya sebesar kapasitas pembangkit yang dilepas. Untuk memudahkan dalam memahami, berikut merupakan urutan studi kasus generator outage generator outage yang akan dilakukan:

Tabel 3.2 Studi Kasus generator outage

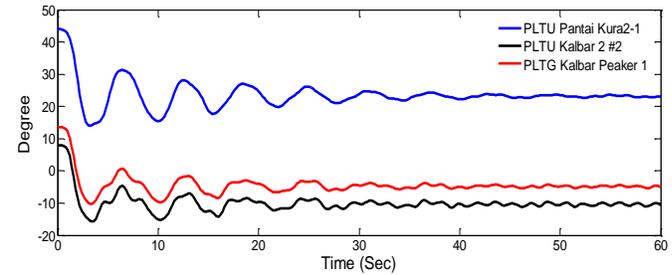
Kasus	Tahun	Aksi	Generator yang diamati
Kasus 1	2022	Generator PLTU Kalbar 2 #1 trip saat $t=1$ detik	<ul style="list-style-type: none"> - PLTU Pantai Kura2-1 - PLTU Kalbar 2 #2 - PLTG Kalbar Peaker 1
Kasus 2	2024	Generator PLTA Riam Kanan Trip saat $t=1$ detik	<ul style="list-style-type: none"> - PLTA Kusan - PLTG Kalteng 1 - PLTU Kalselteng 2 #1

Kasus 3	2026	Generator PLTU Embalut Ekspansi trip saat $t=1$ detik	<ul style="list-style-type: none"> - PLTU Kaltim 5 - PLTU Kaltim (FTP2) #1 - PLTG Kaltim Peaking 1
---------	------	---	---

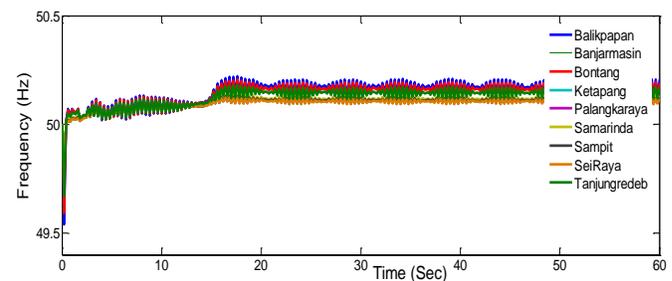
3.4.1 Simulasi Generator Outage Kasus 1

Pada simulasi generator outage dilakukan pelepasan generator PLTU Kalbar 2 #1 dengan daya yang dimiliki yaitu 100 MW. Akibat dari pelepasan generator tersebut, maka sistem akan kehilangan daya sebesar 100 MW. Simulasi pelepasan generator dilakukan pada detik ke 1 kemudian diamati respon sudut rotor, frekuensi, dan tegangan dengan hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.20.

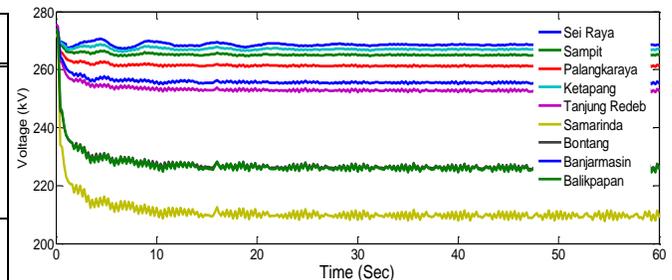
Pada gambar 3.7 dapat dilihat respon sudut rotor pada PLTU Pantai Kura2-1, PLTU Kalbar 2 #2, dan PLTG Kalbar Peaker 1 mengalami osilasi pada semua generator yang aktif dan dapat kembali ke keadaan steady. Pada respon generator PLTU Pantai Kura2-1 kondisi awal pada 44,03 degree, ketika terjadi generator outage pada detik ke 1 berubah menjadi 42,56 degree dan steady pada 23,12 degree. Generator PLTU Kalbar 2 #2 kondisi awal pada 8,01 degree, ketika terjadi generator outage pada detik ke 1 berubah menjadi 6,62 degree dan steady pada -10,63 degree. Generator PLTG Kalbar Peaker 1 kondisi awal pada 13,68 degree, ketika terjadi generator outage pada detik ke 1 berubah menjadi 12,36 degree dan steady pada -5,03 degree. Seluruh sistem dapat kembali ke keadaan steady karena pembangkitan masing-masing generator yang aktif masih mencukupi kebutuhan daya pada beban.



Gambar 3.7 Respon Sudut Rotor akibat Generator Outage Kasus 1



Gambar 3.8 Respon Frekuensi akibat Generator Outage Kasus 1



Gambar 3.9 Respon Tegangan akibat Generator Outage Kasus 1

Pada gambar 3.8 dapat dilihat hasil respon frekuensi pada bus backbone Kalimantan 275 kV akibat generator outage pada PLTU Kalbar 2 #1. Frekuensi menjadi beresilasi dalam range yang aman sesuai dengan standar frekuensi IEEE Std C37.106-2003. Hasil simulasi pada gambar 3.9 menunjukkan respon tegangan akibat generator outage pada kasus 1. Tegangan pada seluruh bus pada range aman $\pm 5\%$ kecuali pada bus Balikpapan dan Samarinda yang mengalami drop tegangan.

IV. KESIMPULAN

1. Untuk *critical clearing time* (CCT) Sistem Kelistrikan Kalimantan 275kV tahun 2022 terjadi hubung singkat 3 fasa terbesar yaitu di bus Samarinda dengan arus hubung singkat 13,8 kA pada saluran Samarinda-Banjarmasin didapatkan waktu yang bisa dipertahankan kestabilannya adalah 0,990 detik dan waktu tidak stabil adalah 0,991 detik. Respon frekuensi dan tegangan aman pada detik ke 0,990 dan tidak aman pada detik ke 0,991 sesuai standar IEEE Std C37.106-2003.
2. Untuk *critical clearing time* (CCT) Sistem Kelistrikan Kalimantan 275kV tahun 2024 terjadi hubung singkat 3 fasa terbesar yaitu di bus Samarinda dengan arus hubung singkat 13,9 kA pada saluran Samarinda-Banjarmasin didapatkan waktu yang bisa dipertahankan kestabilannya adalah 0,220 detik dan waktu tidak stabil adalah 0,221 detik. Respon frekuensi dan tegangan aman pada detik ke 0,220 dan tidak aman pada detik ke 0,221 sesuai standar IEEE Std C37.106-2003.
3. Untuk *critical clearing time* (CCT) Sistem Kelistrikan Kalimantan 275kV tahun 2026 terjadi hubung singkat 3 fasa terbesar yaitu di bus Samarinda dengan arus hubung singkat 14 kA pada saluran Samarinda-Banjarmasin didapatkan waktu yang bisa dipertahankan kestabilannya adalah 1,720 detik dan waktu tidak stabil adalah 1,721 detik. Respon frekuensi dan tegangan apada detik ke 1,720 dan detik ke 1,721 beresilasi dan menuju ke titik 0.
4. Untuk kasus kedua yaitu generator outage, seluruh generator mengalami osilasi dan kembali ke keadaan steady setelah diberi gangguan generator outage. Karena pembangkit yang aktif masih dapat memenuhi permintaan beban.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurdin, Muhammad. Hariyanto, Nanang. Sasmono, Sudarmono. "Fix Series Capacitor for increasing Power Transfer on Transmission 150 kV at Sumatra Interconnection System" *IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, 2012.
- [2] W. D. Stevenson and J. J. Granger, "Elements of Power System Analysis", 4th ed. McGraw-Hill Companies, 1994.
- [3] P. Kundur et al., "Definition and Classification of Power System Stability IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 3, pp. 1387–1401, 2004.
- [4] P. Kundur, "Power System Stability and Control," EPRI power system engineering series. p. 1176, 1994.
- [5] Grigsby, Leonard L, Electric Power generation, transmission, and distribution, 2nd edition, Taylor & Francis Group, LLC, 2007.
- [6] P. Kundur et al., "Definition and Classification of Power System Stability IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 3, pp. 1387–1401, 2004.

- [7] Budi, Irrine., Priyadi, Ardyono., Asrarul, Ony., Soeprijanto, Adi., Yorino, Naoto., "Electrical Power and Energy Systems Critical Clearing Time prediction within various loads for transient stability assessment by means of the Extreme Learning Machine method", *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 2017.
- [8] Ma, Youjie. Lv, Shaofeng. Zhou, Xuesong. Gao, Zhiqiang, "Review analysis of voltage stability in power system", *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA*, 2017.
- [9] Reddy, D. Sreenivasulu, Kumari, Ch. Siva. "Transient Stability Analysis of a Combined Cycle Power Plant Using ETAP Software", *IEEE 7th International Advance Computing Conference*, 2017.
- [10] Bose, A. Concordia, C. Dunlop, R. D. Fouad, A. A. Kundur, P. Schulz, R. P. Anderson, P. M. Robb, D. D. Lamont, J. W. "Proposed Terms & Definitions For Power System Stability", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-101, 1982.
- [11] P. K. Chandrashekhar, Srivani. S. G., "A Hybrid Method for Critical ClearingTime Evaluation of Multi-machine Systems" *Power Systems Division, Central Power Research institute, Bengaluru, India*, 2015.
- [12] Huang. Hongyang, Xu. Zheng, Wang. Weihong, Wang. Cong, "Transient Stability Analysis of Shanghai Power Grid with Multiple HYDe Links," *International Conference on Power System Technology Transient*, 2010
- [13] IEEE Std C37.106-2003, "IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants".
- [14] Pasific Gas and Electric Company, "Voltage Sag Immunity Standards SEMI-F47 and F42", *Power Quality Bulletin*, 2007.