

Analisa kestabilan transien menggunakan metode trajektori kritis pada sistem wilayah Sumbar

Ilham Afandi Arista¹⁾, Arfita Yuana Dewi^{2)*}

Institut Teknologi Padang, Jl.Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

ilhamafandi03@gmail.com; arfitarachman.itp@gmail.com

*Penulis Koresponden

ABSTRAK

Penelitian ini untuk mengkaji analisa kestabilan transien dengan metode trajektori kritis pada sistem wilayah sumbar. Kestabilan transien berperan penting untuk keamanan dan keandalan dalam sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk memperkirakan kondisi pada sistem saat terjadinya pelepasan (*outage*) baik berupa pelepasan saluran maupun pelepasan generator. Penelitian ini membahas kestabilan transien yang terjadi karena adanya gangguan pada sistem yang mempengaruhi generator. Saat terjadinya gangguan, sistem akan mengalami kondisi transien. Dalam kondisi tersebut, rele pengaman akan bekerja untuk membuka *circuit breaker* dalam kurun waktu tertentu. Akan tetapi hal ini tidak menjamin sistem akan kembali pada kondisi *steady state*. Pada tugas akhir ini dilakukan perhitungan *critical clearing time* (CCT) saat terjadinya pelepasan saluran dengan bantuan software ETAP 12.6. Saat waktu tcb *open* terjadinya pelepasan saluran 5 diantara bus maninjau-padang luar dengan nilai *critical clearing time* 1.166 *second*, maka lintasan kritis yang terjadi didalam hasil simulasi saat terjadinya saluran lepas diantara bus maninjau-padang luar adalah 1.143-1.144 *second*. Setelah terjadinya gangguan sistem akan kembali stabil dengan waktu tcb *open* 0.300 *second*, sedangkan saat terjadinya pelepasan saluran 10 diantara bus pauh limo-simpang haru dengan waktu tcb *open* 0.250 *second* didapatkannya nilai *critical clearing time* adalah 1.143 *second*, maka lintasan kritis yang terjadi didalam hasil simulasi saat terjadinya saluran lepas diantara bus pauh limo-simpang haru adalah 1.143-1.144 *second*.

Kata kunci: Kestabilan transien, Saluran Lepas, *Critical Clearing Time*, *Critical Trajectory*, ETAP 12.6

ABSTRACT

This research is to examine the transient stability analysis using the critical trajectory method in the system of the West Sumatra region. Transient stability plays an important role for safety and reliability in the electric power system which aims to estimate the condition of the system when an outage occurs, either in the form of line discharge or generator discharge. This study discusses the stability of transients that occur due to disturbances in the system that affect the generator. When a disturbance occurs, the system will be in a transient state. In this condition, the safety relay will work to open the circuit breaker within a certain time. However, this does not guarantee that the system will return to steady state conditions. This study discusses the stability of transients that occur due to disturbances in the system that affect the generator. When a disturbance occurs, the system will be in a transient state. In this condition, the safety relay will work to open the circuit breaker within a certain time. However, this does not guarantee that the system will return to steady state conditions. After the disturbance the system will return to stability with a tcb open time of 0.300 second, while when the release of channel 10 between the Pauh Limo-Simpang Haru buses occurs with a tcb open time of 0.250 seconds, the critical clearing time value is 1.143 seconds, then the critical path that occurs in the simulation results the time of the loose line between the Pauh Limo-Simpang Haru bus is 1.143-1.144 second.

Keywords: Transient stability, Saluran Lepas, *Critical Clearing Time*, *Critical Trajectory*, ETAP 12.6

diunggah : September 2022, direvisi : Desember 2022, diterima : Desember 2022, dipublikasi : Desember 2022

Copyright (c) 2022 Ilham Afandi Arista, Arfita Yuana Dewi
This is an open access article under the CC-BY license

PENDAHULUAN

Analisis stabilitas transien pada sistem tenaga listrik menjadi perhatian besar karena stabilitas sistem tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting dalam menjaga keselamatan, terutama pada saat pengoperasian sistem tenaga tidak stabil. satu sama lain melalui jaringan transmisi, karena sistem tidak akan pernah lepas dari gangguan. (Boni, 2017). Oleh karena itu, untuk melindungi sistem tenaga listrik dari kerusakan akibat gangguan, harus dipasang relai pengaman yang dapat mendeteksi gangguan dan berfungsi sebagai alat trip untuk membaca pemutusan rangkaian. Namun, ini tidak menjamin bahwa sistem akan kembali ke kondisi steady state setelah terjadinya gangguan karena adanya waktu pemutus kritis. Sistem akan kembali ke kondisi stabil jika pemutus diputus sebelum CCT (*Critical Clearing Time*), sebaliknya jika pemutus diputus setelah CCT (*Critical Clearing Time*), sistem tidak akan stabil. (Eviningsih & Priyadi, 2015). Sesuai dengan penelitian terdahulu yang menjadi sitasi yang dilakuakn untuk penelitian ini bahwa penelitian sebelumnya melakukan validasi perhitungan menggunakan Simulink matlab dan digsilent untuk keterbaruan dan juga terkait dengan system tenaga listrik maka peneliti sendiri dalam hal ini melakukan validasi melalui program etap 12.6 yang merupakan software aplikasi yang digunakan pemakai dalam hal PLN.

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan suatu kondisi atau keadaan sistem tenaga listrik dengan operasi awal tertentu untuk mendapat kembali serta mempertahankan kesetimbangan kondisi operasi pada sistem sesudah mengalami gangguan (James, 2014).

Kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga hal penting, antara lain (Kundur et al., 2004) :

1. Kestabilan Sudut Rotor

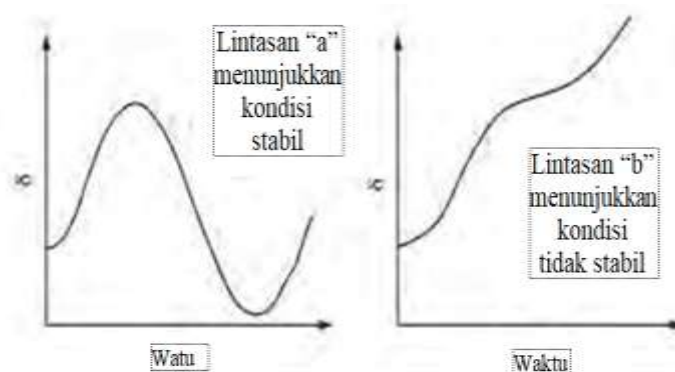
Stabilitas sudut rotor adalah kemampuan mesin sinkron yang terhubung untuk menjaga sistem tetap sinkron setelah terjadi gangguan(Pujiantara., 2017). Untuk kestabilan sudut rotor itu sendiri dibagi dalam dua subkategori, antara lain:

a. Stabilitas sudut rotor gangguan kecil atau sinyal kecil

Stabilitas sangat berkaitan erat dengan kemampuan sistem tenaga dalam mempertahankan sinkronisme ketika terjadinya gangguan kecil. Stabilitas ini tergantung pada operasi dalam keadaan awal. Ketidakstabilan dapat diperoleh menjadi dua bentuk peningkatan sudut rotor melalui aperiodik karena kurangnya sinkronisasi torsi atau peningkatan amplitudo osilasi rotor karena kurangnya redaman torsi yang cukup (Suroso., 2010).

b. Stabilitas sudut rotor gangguan besar atau stabilitas transien

Stabilitas transien merupakan suatu kemampuan sistem untuk mencapai titik sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sehingga sistem kehilangan stabilitas dikarenakan gangguan yang terjadi diatas kemampuan system (Kumara et al., 2016).



Gambar 1. Grafik lintasan sudut rotor terhadap waktu dalam kondisi transien stabil dan tidak stabil

Disaat respon sudut rotor dalam keadaan stabil, akan terjadi osilasi sampai dalam keadaan amplitudo maksimum. Selanjutnya menurun dalam kondisi steady state, sedangkan dalam kondisi tidak stabil respon sudut rotor tidak steady state (Kumara et al., 2016). Dapat menjelaskan melalui dua peristiwa, yaitu: ketidakstabilan osilasi pertama ketika sudut rotor meningkat di atas nilai maksimum karena kurangnya torsi waktu dan peristiwa kedua, yaitu ketidakstabilan pada beberapa osilasi, yang terjadi ketika osilasi sudut rotor terus meningkat. melebihi nilai maksimumnya sampai kehilangan sinkronisasi.

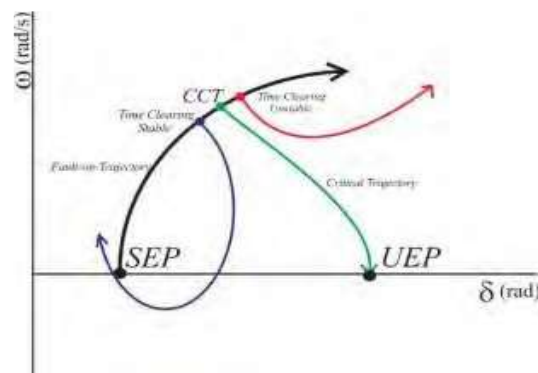
2. Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi dapat mengacu kepada sistem tenaga dalam mempertahankan frekuensi stabil, ketika terjadinya ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkit dan beban. Kestabilan frekuensi dapat berupa jangka pendek dan jangka panjang. Untuk yang jangka pendek dapat didalam pembentukan dari sebuah sistem saat kondisi undergenerasi yang mempunyai pemutusan beban/ load shedding sehingga mengakibatkan frekuensi runtuh dengan cepat dan terjadi blackout pada wilayah itu dalam beberapa detik, sedangkan dalam untuk jangka panjang merupakan situasi dalam bentuk kompleks dimana ketidak stabilan dapat disebabkan oleh kontrol-kontrol reaktor dalam jangka waktu puluhan detik hingga beberapa menit (Bagaskara Andika, 2018).

3. Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan merupakan kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan nilai tegangannya disemua bus pada sistem dalam kondisi operasi normal maupun setelah terjadi gangguan (Kumara, dkk., 2016). Sistem dapat berada dalam keadaan tidak stabil jika terjadi noise, kebutuhan beban yang meningkat dan perubahan topologi jaringan yang menyebabkan jatuh tegangan yang tidak terkendali.

Lintasan kritis adalah lintasan yang dimulai dari titik kesalahan dalam lintasan hingga mencapai titik kritis dimana sistem akan kehilangan sinkronisasi. (Zhang et al., 2017).



Gambar 2. Lintasan kritis untuk sistem *single machine* tanpa damping.

1. Lintasan ketika terjadinya gangguan (*fault-on-trajectory*) yang digambarkan dalam grafik warna hitam dimulai dari *Stable Equilibrium Point* (SEP).
2. Lintasan dari kondisi *steady state* dimana di trip oleh *circuit breaker* berada dibawah nilai CCT (*Critical Clearing Time*) pada sistem dan akan mengalami osilasi disekitar nilai SEP (*Stable Equilibrium Point*) yang ditunjukkan dengan dari gambar berwarna hijau.
3. Jalur di mana sistem tidak sinkron di mana gangguan di-trip oleh pemutus sirkuit lebih besar dari nilai CCT (*Critical Clearing Time*) dalam sistem yang ditunjukkan oleh grafik merah.

4. Lintasan kritis untuk kondisi stabil adalah batas antara kondisi stabil dan tidak stabil selama sistem sinkron dengan nilai CCT yang diperoleh dan kemudian akan mencapai titik kritis yang dianggap sebagai UEP (*Unstable Equilibrium Point*).

Waktu pemutus kritis adalah waktu maksimum yang diijinkan bahwa kesalahan terjadi. Jika gangguan dapat diatasi sebelum CCT, sistem akan kembali ke kondisi stabil. Sebaliknya jika CCT ini dilewatkan, sistem akan kehilangan stabilitasnya (Filiana, 2017), tetapi jika gangguan diinterupsi di luar waktu kritis yang ditetapkan pada awalnya, generator akan berada dalam keadaan tidak stabil dan dapat diberi stempel waktu yang sesuai.

Berdasarkan referensi (Sallam & Malik, 2015) persamaan dari *critical clearing time* adalah sebagai berikut:

$$\cos[\delta_{cr}] = \frac{P_m}{P_{max}} (\delta_{max} - \delta_0) + \cos \delta_{max}$$

$$t_c = \frac{(\sqrt{2} * H (\delta_c - \delta_0))}{(\omega P_m)}$$

Dimana :

t_c = waktu pemutus kritis

H = inersia

δ_c = sudut kritis

δ_0 = sudut awal

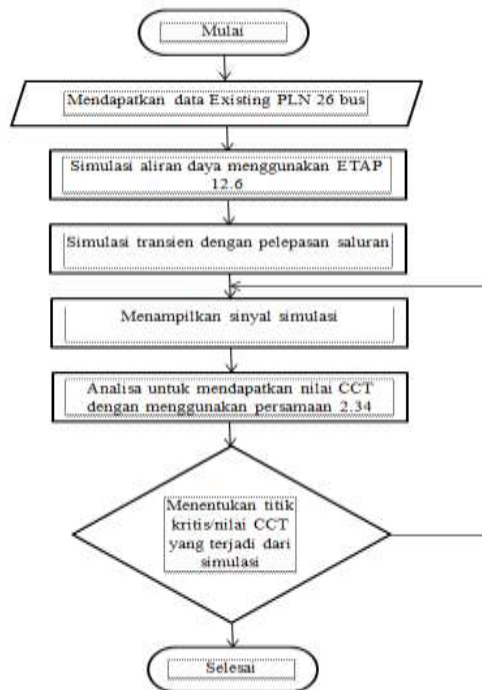
ω = omega

P_m = daya mekanis

METODE

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian dengan pendekatan kualitatif. Penelitian ini dilakukan untuk menguji keefektifan metode yang digunakan, dilakukan simulasi pada sistem interkoneksi wilayah sumbar dan software yang digunakan adalah ETAP 12.6. Untuk mendukung penelitian yang dilakukan, maka penulis mengkaji dan mengambil data pada PLN wilayah interkoneksi sistem Sumbar. Teknis analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : a). Membuat *single diagram* interkoneksi wilayah Sumbar 150 kV dengan menggunakan software ETAP 12.6, b). Serta melakukan simulasi aliran daya, c). Melakukan skenario pelepasan saluran, d). Sehingga didapatkan nilai transiennya, e). Selanjutnya menghitung nilai CCT dengan menggunakan persamaan $t_c = \frac{(\sqrt{2} * H (\delta_c - \delta_0))}{(\omega P_m)}$.

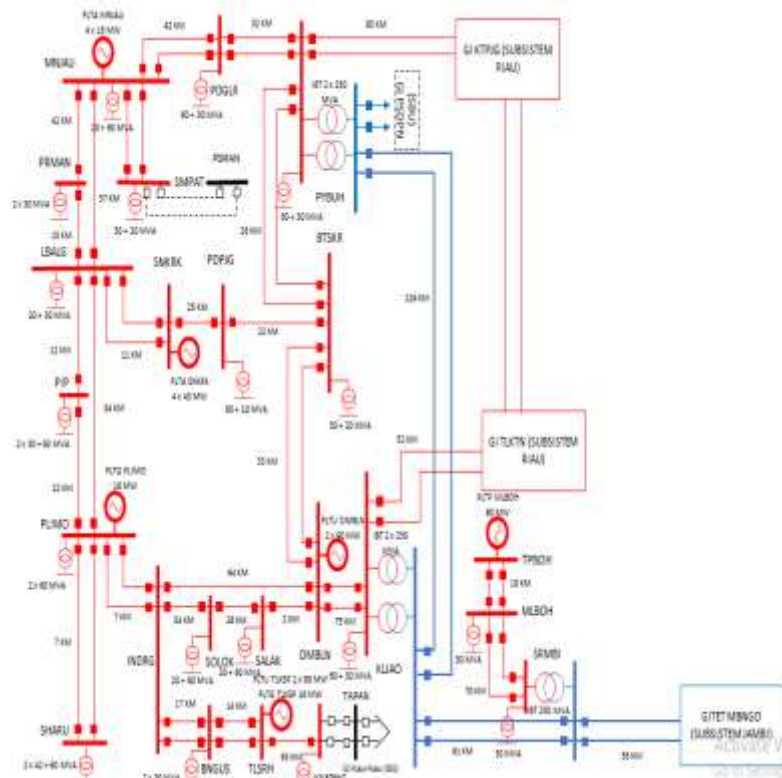
Proses pelaksanaan penelitian ini disajikan seperti pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini, membahas simulasi dan analisis untuk menentukan kesesuaian metode yang dirancang dan dimodelkan. pada simulasi dan analisis yang dilakukan oleh jaringan transmisi Sumbar 150 kV yang bertujuan untuk mengetahui nilai *critical clearing time* saat terjadinya gangguan pelepasan saluran sehingga mempengaruhi stabilitas sistem kelistrikan khususnya stabilitas transien. software ETAP 12.6 digunakan dalam pemodelan sistem Sumbar dalam bentuk single line diagram sistem tenaga listrik Sumbar 150 kV dengan menggunakan parameter antara lain data saluran, data pembangkit, dan data beban.



Gambar 4. Singeline sistem interkoneksi sumbar 150 kV

Tabel 1. Data beban sistem interkoneksi Sumbar

Sistem Sumbar	MVA	MW
BUNGUS	TRF1 30 MVA	18,2
KMBNG	TRF1 30 MVA	9
	TRF2 60 MVA	14,2
PAUHLIMO	TRF1 60 MVA	20,6
	TRF2 60 MVA	26,4
SIMPANG HARU	TRF1 42 MVA	14,2
	TRF2 42 MVA	27,5
	TRF3 60 MVA	22,1
GI PIP	TRF1 30 MVA	19,8
	TRF2 30 MVA	9,5
	TRF3 60 MVA	0
LUBUK ALUNG	TRF1 20 MVA	7,6
	TRF2 30 MVA	13,3
PARIAMAN	TRF1 30 MVA	10,1
	TRF2 30 MVA	10,8
MANINJAU	TRF1 20 MVA	6,8
	TRF2 60 MVA	6,1
SIMPANG EMPAT	TRF1 30 MVA	21
	TRF2 20 MVA	14,7
	TRF3 30 MVA	0
PADANG LUAR	TRF1 60 MVA	31,1
	TRF2 30 MVA	9,1
PADANG PANJANG	TRF1 60 MVA	5,5
	TRF2 10 MVA	5,5
PAYAKUMBUH	TRF1 60 MVA	13,4
	TRF2 30 MVA	10,4
BATU SANGKAR	TRF1 30 MVA	7,5
	TRF2 20 MVA	8,3
SALAK	TRF1 20 MVA	7,5
	TRF2 60 MVA	10,4
SOLOK	TRF1 20 MVA	2,9
	TRF2 60 MVA	19,6
	TRF3 30 MVA	4,5
KILIRANJAO	TRF1 20 MVA	0
	TRF2 60 MVA	11,1
TELUK KUANTAN	TRF1 30 MVA	12,5
	TRF2 60 MVA	24,1
SUNGAI RUMBAI	TRF1 30 MVA	14,5
MUARA LABOH	TRF1 30 MVA	3,8
PASAMAN	TRF1 30 MVA	0

Tabel 2. Data saluran sistem interkoneksi Sumbar

GARDU INDUK	BAY PENGHANTAR	JENIS KONDUKTOR	PANJANG KAWAT	ARUS
TELUK SIRIH	BNGUS 1	ACSR 240 mm	14 km	124
KMBNG	TLSRH 1	ACSR 240 mm	93 km	87
BUNGUS	INDRG 1	ACSR 240 mm	17 km	100
INDARUNG	I.OMBLN	ACSR 240 mm	64 km	155
	SLOK	ACSR 240 mm	34 km	112
	POLIMO 1	ACSR 240 mm	7 km	81
	POLIMO 2	ACSR 240 mm	7 km	81
PAUHLIMO	LBALG 2	ACSR 240 mm	34 km	142
	PIP 1	ACSR 240 mm	22 km	101
SIMPANG HARU	PLIMO 1	ACSR 240 mm	7 km	116
	GI PIP	ACSR 240 mm	12 km	214
LUBUK ALUNG	PRAMN1	ACSR 240 mm	15 km	62
	MANINJAU	ACSR 240 mm	57 km	33
SINGKARAK	S.LBALG	ACSR 240 mm	11 km	245
PARIAMAN	MANINJAO	ACSR 240 mm	42 km	37
MANINJAU	PDGLR 1	ACSR 240 mm	42 km	34
SIMPANG EMPAT	MNJAU 1	ACSR 240 mm	42 km	63
PADANG LUAR	PYBUH 1	ACSR 240 mm	32 km	48
PADANG PANJANG	SNKRK1	ACSR 240 mm	25 km	72
BATU SANGKAR	BTSKNR1	ACSR 240 mm	22 km	54
	OMBILN 1	ACSR 240 mm	33 km	95
	PYABUH 1	ACSR 240 mm	26 km	70
OMBILIN	KLRJO 1	ACSR 240 mm	75 km	84
SALAK	S.OMBLN	ACSR 240 mm	2 km	245
SOLOK	SLAK	ACSR 240 mm	28 km	188

1. Skenario 1 Pelepasan Saluran 5(bus maninjau-padang luar) pada sistem interkoneksi sumbar

H = 9

F = 50 Hz

$P_e = 1.03$

V = 0.9847

$\phi = 0.8$

X'd = 28

X1 = 0.42

X2 = 0.42

P/S = 0.8

$$S = 1.03 / 0.8 = 1.287$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{1.287^2 - 1.03^2}$$

$$Q = \sqrt{1.6564 - 1.0609}$$

$$Q = 0.772$$

$$S = P - jQ$$

$$S = 1.03 - j0.772$$

$$I = \frac{S^*}{V^*}$$

$$I = \frac{1.03 - j0.772}{0.9847}$$

$$I = 1.046 - j0.784$$

$$X_{tot} = j(X'd + X1 + X2)$$

$$X_{tot} = j(28 + 0.42 + 0.42)$$

$$X_{tot} = j28.84$$

$$\bar{E} = V + IX_{tot}$$

$$\bar{E} = 0.9847 + (1.046 - j0.784)(j28.84)$$

$$\bar{E} = 0.9847 + (22.61 - j30.166)$$

$$\bar{E} = 23.595 + j30.166$$

$$\bar{E} = 38.297 \angle 51.968^\circ$$

$$P_{max} \sin \delta = \frac{EV}{X_{tot}}$$

$$P_{max} \sin \delta = \frac{(38.297)(0.9847)}{28.84}$$

$$P_{max} = 1.31 \sin \delta$$

$$1.63 \sin \delta_0 = 0.8$$

$$\delta_0 = \sin^{-1} \frac{0.8}{1.31}$$

$$\delta_0 = 37.639 \quad \delta_0 = 0.6569 \text{ rad}$$

$$\delta_{max} = \pi - \delta_0$$

$$\delta_{max} = 180^\circ - 37.639^\circ$$

$$\delta_{max} = 142.361^\circ \quad \delta_0 = 2.4846 \text{ rad}$$

$$\cos \delta_{cr} = \frac{P_m}{P_{max}} (\delta_{max} - \delta_0) + \cos \delta_{max}$$

$$\cos \delta_{cr} = \frac{1.03}{1.31} (2.4846 - 0.6569) + \cos 142.361^\circ$$

$$\cos \delta_{cr} = 0.786 (1.8277) + (-0.792)$$

$$\cos \delta_{cr} = 1.4366 - 0.792$$

$$\cos \delta_{cr} = 0.6446$$

$$\delta_{cr} = \cos^{-1} 0.6446$$

$$\delta_{cr} = 49.864^0 \quad \delta_{cr} = 0.8702 \text{ rad}$$

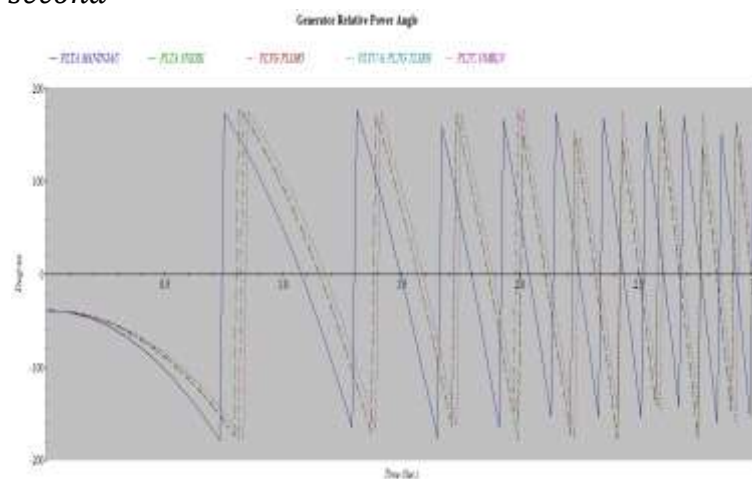
$$t_c = \sqrt{\frac{2 \cdot H (\delta_{cr} - \delta_0)}{\omega P_m}}$$

$$t_c = \sqrt{\frac{2 \cdot 9 (49.864 - 37.639)}{3.14 \cdot 50 \cdot 1.03}}$$

$$t_c = \sqrt{\frac{18(12.225)}{161.71}}$$

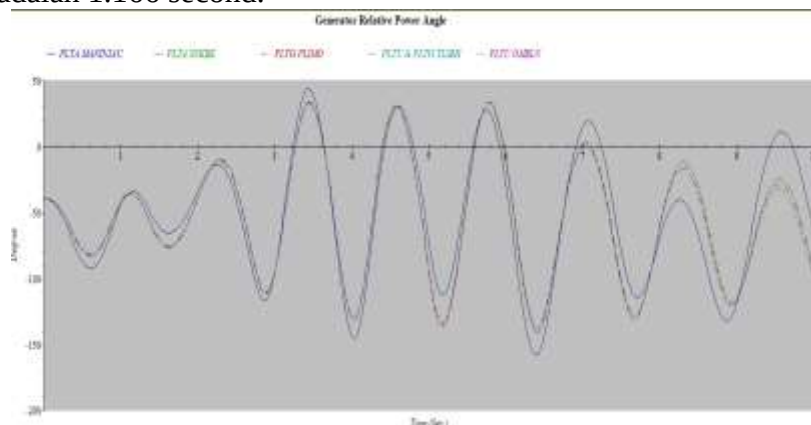
$$t_c = \sqrt{\frac{220.05}{161.71}}$$

$$t_c = 1.166 \text{ second}$$



Gambar 5. Gangguan di saluran 5(bus maninjau-padang luar)

Terlihat pada gambar 4.3 bahwa sudut kritis yang didapatkan dalam hasil simulasi ETAP 12.6 adalah 165^0 saat waktu 0.73 second, sedangkan dalam hasil perhitungan sudut kritis yang didapatkan adalah 49.864^0 . jadi selisih sudut kritis antar hasil simulasi ETAP 12.6 dengan hasil perhitungan adalah 115.136^0 , dimana nilai waktu pemutus kritis atau *critical clearing time* adalah 1.166 second.



Gambar 6. Waktu stabil setelah terjadinya gangguan

Pada gambar 6 semua respons sudut rotor untuk lima generator masih dalam kondisi stabil. dikatakan stabil ketika tcb dibuka selama 0,35 detik. Respon sudut rotor di pembangkit listrik tenaga air diamati berkisar hingga 45 derajat, namun bias kembali lagi hingga *steady state*

pada 30 - 35 derajat. sehingga sistem PLTA maninjau dikatakan masih dalam batas stabil ketika terjadi gangguan pelepasan saluran 5 (bus maninjau-bus padang luar). Berdasarkan gambar 5 dan 6 menunjukan hasil simulasi perubahan kondisi tidak stabil dan kondisi stabil pada sistem. Dari hasil simulasi ETAP 12.6 waktu ketidakstabilan transien saat terjadinya gangguan dimulai dari detik 0.73 sampai 3 detik. Sedangkan waktu kestabilan transien setelah sistem mengalami gangguan berada pada detik ke 1 sampai 10 detik.

Tabel 3. Nilai CCT dengan menggunakan metode trajektori kritis

Open Line	Metode trajektori kritis
	CCT(s)
Bus Maninjau-Bus Padang Luar	1.166(s)
Bus Pauh Limo-Bus Simpang Haru	1.143(s)

SIMPULAN

Berdasarkan analisa yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa

1. Pada sistem sumbar yang terinterkoneksi saat waktu tcb open 0.250 second nilai *critical clearing time* yang didapat saat terjadinya pelepasan saluran 5 diantara bus maninjau-bus padang luar maka didapatkannya nilai *critical clearing time* adalah 1.166 second, sedangkan saat terjadinya pelepasan saluran 22 diantara bus singkarak lubuk alung nilai *critical clearing time* yang didapatkan adalah 1.154 second pada saat waktu tcb open 0.250 second.
2. Setelah terjadinya gangguan pada saluran 5 diantara bus maninjau-padang luar sistem akan kembali stabil pada detik ke 1 sampai 10 detik dengan waktu tcb open 0.300 second dan waktu stabil saat terjadinya gangguan pada saluran 22 diantara bus singkarak-lubuk alung sistem akan kembali stabil pada detik ke 0.6 sampai 10 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- A, B. A., Pujiantara, M., & Fahmi, D. (2017). *Analisis Kestabilan Transien Dan Mekanisme*. 6(1), 1–6.
- Bagaskara Andika. (2018). *Analisa stabilitas sudut rotor pada jaringan distribusi kota payakumbuh yang terhubung distributed generator*.
- Boni, N. I. (2017). *Penentuan Critical Clearing Time (CCT) untuk Analisis Kestabilan Transien pada Sistem Kelistrikan 150kV Sumatera Utara Tahun 2025*. <http://repository.its.ac.id/43747/>
- Eviningsih, R. P., & Priyadi, A. (2015). *Perhitungan CCT (Critical Clearing Time) Berbasis Trajectory Kritis Menggunakan Persamaan Simultan pada*. 4(2).
- Filiana, F. (2017). *Analisis Kestabilan Transient untuk Sistem Smart Grid Berdasarkan Metode Lintasan Kritis yang Mempertimbangkan Algoritma Persamaan Simultan*. <http://repository.its.ac.id/43430/>
- James A. Pongtiku, Maickel Tuegeh, ST., MT., Ir. Hans Tumaliang, M. (2014). *Analisa Stabilitas Transien Untuk Menentukan Waktu Pemutusan Kritis (Critical Clearing Time) Pada Jaringan Transmisi 70 Kv Plta Tanggari Ii-Gi Sawangan Dengan Menggunakan Program Matlab*. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 3(2), 53–58.
- Kumara, D. T., Penangsang, O., & Aryani, N. K. (2016). *Analisa Stabilitas Transien Pada*

Sistem Transmisi Sumatera Utara 150 kV - 275 kV dengan Penambahan PLTA Batang Toru 4 x 125 MW. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16119>

Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, V., Andersson, G., Bose, A., Canizares, C., Hatziargyriou, N., Hill, D., Stankovic, A., Taylor, C., Van Cutsem, T., & Vittal, V. (2004). Definition and classification of power system stability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(3), 1387–1401. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.825981>

Sallam, A. A., & Malik, O. P. (2015). Power flow analysis. In *Power System Stability: Modelling, Analysis and Control* (pp. 107–130). https://doi.org/10.1049/pbpo076e_ch5

Suroso, A. P., Pujiantara, M., Priyadi, A., Its, K., Asri, C., & Kestabilan, D. (n.d.). *Analisa stabilitas transien pada sistem kelistrikan pt.chandra asri,cilegon akibat integrasi pln*. 1–8.

Zhang, J., Zou, J., Nie, K., Shao, Y., Zhao, Y., & Zhang, W. (2017). Numerical Simulation of Wellhead Back Pressure in Under-balanced Drilling. *Energy Procedia*, 107(September 2016), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.155>