

Evaluasi Setting Waktu Rele Pengaman di PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap dengan Mempertimbangkan *Transient Stability Assesment*

¹ Fahmi Nurfaishal, ²Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng., ³Dr. Ir Margo Pujiantara, MT.

¹ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

¹ fahminurfaishal@gmail.com, ²priyadi@ee.its.ac.id, ³margo@ee.its.ac.id

Abstrak— Sistem kelistrikan PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap, yang umumnya memiliki banyak aktivitas pengolahan bahan bakar minyak, dimana besarnya beban di supply oleh beberapa generator yang bekerja paralel bersama. Kestabilan *transient* pada sistem tersebut memiliki peranan penting dalam menjaga keberlangsungan operasinya, karena belum tentu sistem tersebut mampu mempertahankan kestabilannya dari adanya gangguan. Gangguan *transient* sendiri dapat mempengaruhi kestabilan pada sudut rotor, frekuensi maupun tegangan pada sistem dan bisa berujung pada lepasnya sinkronisasi generator, sehingga perlu ditentukannya waktu kritis pemutusan / *Critical Clearing Time (CCT)* melalui *Transient Stability Assesment*. *CCT* merupakan waktu kritis pemutusan yang diperbolehkan untuk menghilangkan gangguan, nilai *CCT* didapat berupa batas kondisi stabil dan batas kondisi tidak stabil sistem, dengan melihat respon perubahan sudut rotor generator ketika terjadi gangguan. Nilai *CCT* yang didapat akan dibandingkan dengan setting rele pengaman eksisting PT. Pertamina RU IV Cilacap, yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan resetting rele pengaman yang sesuai.

Kata Kunci—*Critical clearing time*, kestabilan *transient* sistem, resetting rele pengaman.

Electrical system of PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap, which generally has a lot of oil-fuel processing activities, where the load is supplied by several generators working parallel together. Transient stability in the system has an important role in maintaining the continuity of its operation, because not ensured that the system is able to maintain its stability from the disturbance. Transient disturbance itself can affect the stability parameter at the rotor angle, frequency, voltage in the system and can lead to the loss of generator synchronization, so it is necessary to specify the Critical Clearing Time (CCT) by Transient Stability Assesment. CCT is the time that allowed to cleared the disturbance, the CCT value is obtained in the form of a stable condition boundary and an unstable system boundary, by analyzing at the response of the generator rotor angle change when the disturbance occurs. The value of CCT that obtained will be compared with the existing protection relay settings of PT. Pertamina RU IV Cilacap, which will then be used as a reference in determining the appropriate relay protection resetting.

Key Word -- (*system transient stability, critical clearing time, resetting relay protection resetting*)

I. PENDAHULUAN

Suatu sistem kelistrikan industri tidak lain sekarang ini, banyak mengalami pengembangan dengan banyaknya aktifitas produksi, pengolahan tergantung kebutuhannya. Sistem tersebut, dapat dikatakan baik ketika sistem mampu mengatur aliran dayanya, menyalurkan sesuai dengan kebutuhan secara kontinu terus menerus. Dapat menghasilkan kualitas *output* untuk parameter tegangan maupun frekuensi peralatan yang sesuai standart untuk menjaga keberlangsungan operasi. Namun demikian, keberlangsungan operasi suatu sistem tetap dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gangguan. Kemampuan sistem untuk mampu mempertahankan sistemnya untuk tetap kembali ke keadaan awal setelah mengalami gangguan merupakan hal yang penting untuk dijaga atau stabilitas sistem itu sendiri. Sehingga kendalan, kontinuitas, kualitas, dan stabilitas suatu sistem membawa peranan penting untuk menjaga sistem kelistrikan tersebut.

Kompleksitas dari suatu sistem kelistrikan industri yang selalu berkembang dapat mempengaruhi perubahan dari segi beban maupun sisi pembangkitan, seperti beban dinamis yang selalu berubah - ubah setiap waktu dan juga pembangkit bekerja terkoneksi paralel bersama. Jikalau keandalan, kontinuitas, kualitas, dan stabilitas tidak terjaga, dan terjadi perubahan beban dinamis yang fluktuatif, pembangkit diharuskan untuk bisa mengakomodir pasokan dalam menjaga permintaan

kebutuhan [1]. Pembangkit yang sinkron bekerja paralel bersama dengan pembangkit yang lain memiliki keluaran daya listrik yang seimbang dengan daya input mekanis dapat dikatakan sistem beroperasi dengan stabil. Adanya gangguan dapat mempengaruhi stabilitas sistem.

Gangguan merupakan hal yang tidak bisa dihindari ketika suatu sistem kelistrikan beroperasi, tanpa adanya pengamanan yang sesuai dari berbagai variasi gangguan. Gangguan seperti perubahan beban, hubung singkat, generator lepas yang tidak terduga, menyebabkan sistem berusaha untuk mempertahankan kondisi pasokan listrik yang sesuai dengan permintaan. Hal tersebut bisa membebani pekerjaan dari pembangkit yang lain, yang bekerja paralel bersama, bahkan belum menjamin seluruh pembangkit sendiri bisa mempertahankan sinkronisasinya agar tidak lepas dari sistem, sehingga perlu ditentukannya waktu kritis pemutusan / *Critical Clearing Time (CCT)*. CCT merupakan waktu kritis pemutusan yang diperbolehkan untuk menghilangkan gangguan.

PT. Pertamina RU IV Cilacap merupakan salah satu unit pengolahan atau kilang yang memiliki kapasitas produksi terbesar yang ada di Indonesia saat ini Koordinasi proteksi eksisting PT. Pertamina RU IV Cilacap saat ini, belum mempertimbangkan CCT sebagai penentuan setting waktu rele pengamannya, sehingga untuk menghindari kegagalan pembangkit dalam mempertahankan sinkronisasinya ketika terjadi gangguan diperlukan *Transient Stability Assesment (TSA)* berupa penentuan CCT, yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan setting rele pengamanan yang sesuai.

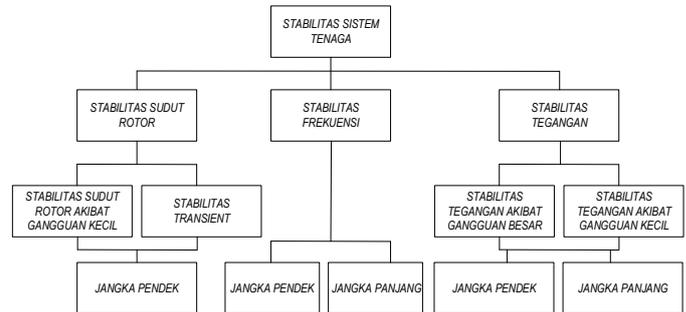
II. TEORI PENUNJANG

A. Kestabilan Sistem

Mengacu pada paper [1] Definition and Classification of Power System Stability, IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions. Stabilitas sistem dibagi menjadi tiga yaitu :

- Stabilitas Sudut Rotor

- Stabilitas Frekuensi
- Stabilitas Tegangan



Gambar. 1. Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga

1) Stabilitas Sudut Rotor

Pada keadaan normal operasi mesin sinkron, medan putar rotor dan medan putar stator berotasi dengan kecepatan yang sama. Mesin sinkron berkerja bersama paralel untuk menjaga stabilitas sistem atau mempertahankan keseimbangan daya listrik dengan daya input mekanis terhadap berbagai macam gangguan [3]. Dalam kondisi setimbang atau yang disebut dengan equilibrium condition, torsi input mekanik dengan torsi output listrik pada setiap mesin sinkron akan selalu sama, jika kesetimbangan terganggu hal tersebut dapat menyebabkan percepatan atau perlambatan pada rotor mesin tersebut [4]

Kestabilan sudut rotor diartikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron setelah terjadi gangguan. Kestabilan sudut rotor berkaitan dengan kemampuan mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik pada mesin-mesin tersebut. Akibat dari ketidakstabilan ini adalah kecepatan sudut yang berubah-ubah pada generator. Sehingga, hilang sinkron antar generator dapat terjadi karena daya output generator yang berubah sesuai dengan berubahnya sudut rotor.

B. Stabilitas Transient

Stabilitas transient merupakan kemampuan sistem untuk mempertahankan sinkronisasinya agar tidak lepas dengan sistem ketika terjadi gangguan - gangguan besar secara tiba - tiba selama sekitar satu ayunan pertama (*first swing*) ketika pengatur tegangan otomatis (AVR) dan *governor* belum bekerja [2]. Suatu sistem dapat dikatakan stabil pada kestabilan *steady state*, namun belum tentu stabil pada kestabilan transien, sehingga

studi ini perlu dilakukan guna untuk mengetahui apakah sistem dapat kembali stabil saat gangguan transien terjadi. Berikut gangguan - gangguan yang dapat mempengaruhi kestabilan *transient* :

- o Generator Outage
- o Hubung singkat
- o Starting pada motor
- o Perubahan beban secara tiba-tiba

Pada sistem kelistrikan yang besar, ketidakstabilan transien bukan selalu disebabkan oleh *first swing instability*, sehingga umumnya interval kurun waktu yang diamati dalam studi stabilitas transien biasanya 3-5 detik setelah gangguan, dan dapat juga diperpanjang 10-20 detik untuk sistem yang besar [1].

C. Critical Clearing Angle

Gangguan harus segera dihilangkan pada suatu sistem kelistrikan, dikarenakan gangguan pada area tersebut bisa merusak peralatan yang dikenai maupun peralatan listrik yang disekitarnya. Dibutuhkan waktu pemutusan yang sesuai agar sistem mampu mempertahankan stabilitasnya ketika gangguan diputus. *Critical clearing time* (CCT) merupakan waktu kritis pemutusan maksimal dan yang diperbolehkan untuk menghilangkan gangguan tanpa mengganggu performansi sistem. Sistem akan mencapai kondisi stabil jika gangguan diisolir sebelum waktu yang diperbolehkan. Jikalau sebaliknya, sistem tidak mencapai kondisi stabil setelah diisolir, maka waktu yang diperbolehkan tersebut belum bisa mengatasi atau bisa dikatakan CCT ditentukan kurang tepat [8]. Nilai dari CCT yang didapat ialah berdasarkan gangguan terbesar yang terjadi atau kemungkinan *worst case* yaitu hubung singkat *three-phase*.

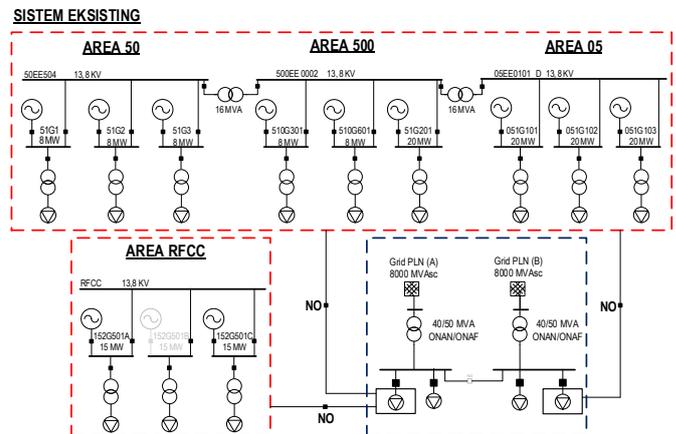
III. SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU IV CILACAP

Dengan selesainya proyek PLBC dan beberapa penyempurnaan sistem kelistrikan dari dampak penambahan sejumlah beban dari proyek tersebut, sistem kelistrikan di PT [7]. Pertamina RU IV Cilacap eksisting dibagi menurut 3 area yang saling terinterkoneksi, 1 area dalam kondisi *islanding*, dan terdapat pemindahan beban non esensial yang terintegrasi dengan sistem PLN.

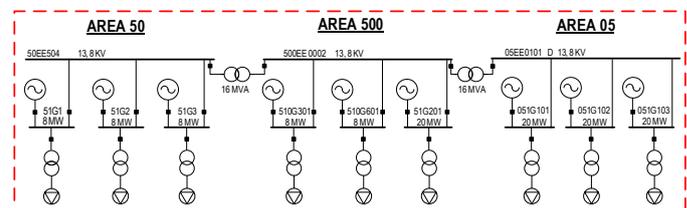
Sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap, memiliki 9 unit pembangkit terbagi menjadi 3 unit untuk 3 area yang saling terinterkoneksi, 5 unit pembangkit dengan kapasitas 8 MW dan 4 unit pembangkit dengan

kapasitas 20 MW, sedangkan untuk area yang *islanding* memiliki 3 unit pembangkit dengan kapasitas 15 MW. Sistem kelistrikan ini menggunakan 3 level tegangan yang berbeda yaitu 0.4 kV, 3.45 kV, dan 13.8 kV untuk mendistribusikan bebannya dan juga PT. Pertamina RU IV Cilacap ini ditunjang dengan peralatan *tie* transformator yang berfungsi untuk menghubungkan antar area 50, 500, 05 terinterkoneksi bersama.

Kondisi saat ini dengan adanya penyempurnaan atas penambahan unit beban dari proyek PLBC, yaitu pemindahan beban non-esensial, memberikan dampak yang baik dari segi efisiensi, keandalan maupun ekonomi. Tujuan utama dari hal tersebut ialah untuk menurunkan *Short Circuit Level* dan meningkatkan jumlah *Spinning Reserve* pada sistem.



Gambar. 2. Sistem Kelistrikan Eksisting PT. Pertamina RU IV



Gambar. 3. Sistem Kelistrikan Eksisting PT. Pertamina RU IV, Daerah Area Kasus yang Dianalisis *Critical Clearing Angle*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Studi Kasus Kestabilan Transient Penentuan Critical Clearing Angle

Pada simulasi ini dilakukan analisis kestabilan transien pada PT. Pertamina RU IV Cilacap akibat gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat tersebut terjadi pada bus level tegangan menengah 13.8 kV. Parameter yang diperhatikan dalam tugas akhir ini adalah respon sudut rotor sistem, dari respon tersebut dapat tentukan nilai rentang CCT dari kondisi stabil hingga kondisi tidak stabil sistem. Studi kasus gangguan hubung singkat pada bus yang dipilih untuk dilakukan simulasi ini antara lain, sebagai berikut :

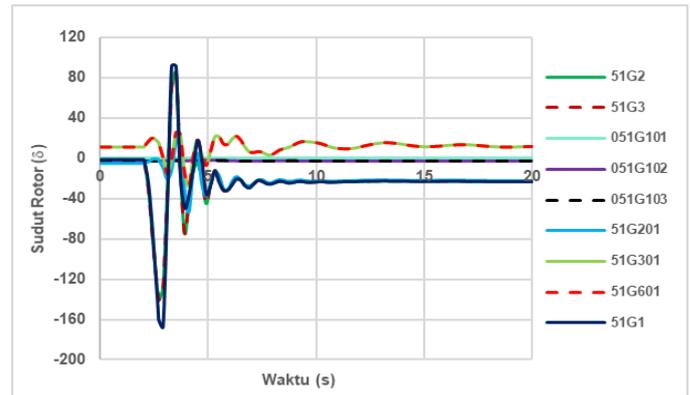
Tabel. 1. Studi Kasus Kestabilan Transient Penentuan Critical Clearing Angle

Case	Type Bus	Area	ID Bus	Voltage
1	Bus Generator	Area 50	50EE501	13.8 kV
2	Bus Generator		50EE502	13.8 kV
3	Bus Generator		50EE503	13.8 kV
4	Bus Sinkron		50EE504	13.8 kV
5	Bus Generator	Area 500	500EE0001	13.8 kV
6	Bus Generator		500EE0101	13.8 kV
7	Bus Generator		500EE2101	13.8 kV
8	Bus Sinkron		500EE0002	13.8 kV
9	Bus Generator	Area 05	05EE0101A	13.8 kV
10	Bus Generator		05EE0101B	13.8 kV
11	Bus Generator		05EE0101C	13.8 kV
12	Bus Sinkron		05EE0101D	13.8 kV

B. Studi Kasus Kestabilan Transient Penentuan Critical Clearing Angle

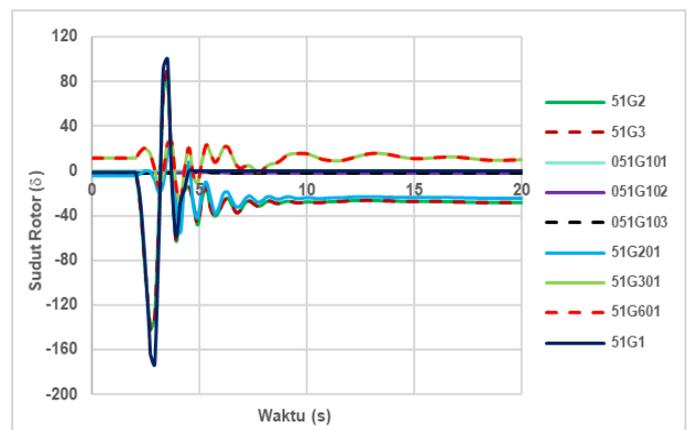
1) Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE501 13.8 kV (Case 1-50EE501)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 50EE501. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.68 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.69 s, setelah gangguan.



Gambar. 4. Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.68s

Gambar 4 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.68 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai -167.16° di waktu 2.89 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi 91.63° di waktu 3.29 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



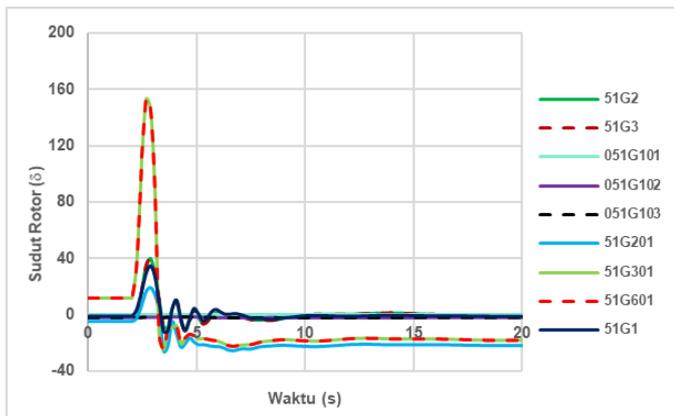
Gambar. 5. Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.69s

Gambar 5 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.69 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50)

semakin menurun mencapai -172.59° , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.68 s mencapai -167.16° di waktu yang sama 2.89 s. Generator 51G1 (8 MW-Area 50) sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan, akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mampu kembali mempertahankan kestabilannya di waktu 4.49 s, sudut rotor mencapai 0° atau bisa dikatakan 51G1 (8 MW-Area 50) *off* berhenti berkerja karena kehilangan sinkronisasinya.

2) Studi Kasus Hubung Singkat Bus 500EE0001 13.8 kV (Case 5-500EE0001)

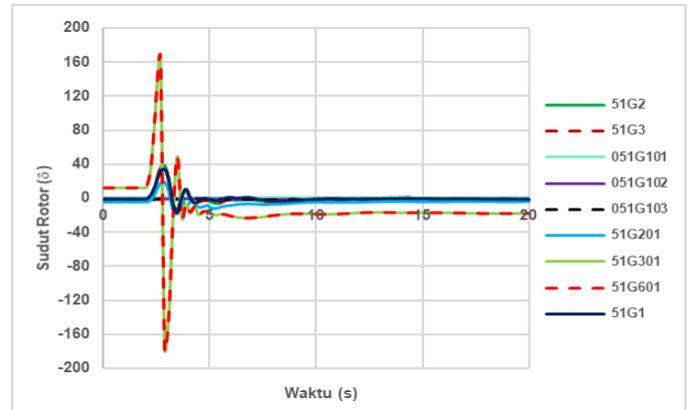
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 500EE0001. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.45 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.46 s, setelah gangguan.



Gambar. 6. Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 0.45s

Gambar 6 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.45 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi mencapai 153.38° di waktu 2.66 s pada 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) yang memiliki respon yang sama, akan tetapi kedua generator tersebut mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan

penurunan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi -24.92° di waktu 3.46 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



Gambar. 7. Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 0.46s

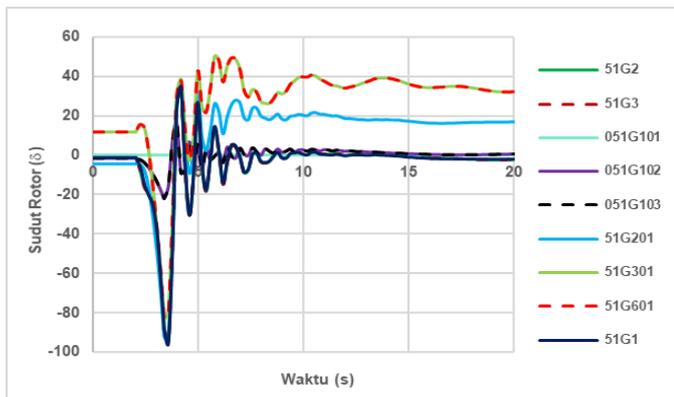
Gambar 7 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.46 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi yaitu 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) semakin meningkat mencapai 163.73° , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s mencapai 153.38° di waktu 2.67 s. Kedua generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500), sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami penurunan, akan tetapi respon yang ditunjukkan menurun dengan sangat signifikan hingga mencapai -175.81 di waktu 2.87 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s hanya mencapai -24.92 di waktu 3.46 s.

Sehingga, respon ini bisa analisis bahwa, sudut rotor mengayun dalam kondisi yang kritis dan 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) dapat dikategorikan menjadi *step-out* atau lepas sinkronisasinya dengan sistem. Semakin kritis sudut rotor mengayun, semakin besar akibat fatal yang bisa terjadi pada rotor generator tersebut yaitu kerusakan mekanik, patahnya rotor generator.

3) Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101A 13.8 kV (Case 9-05EE0101A)

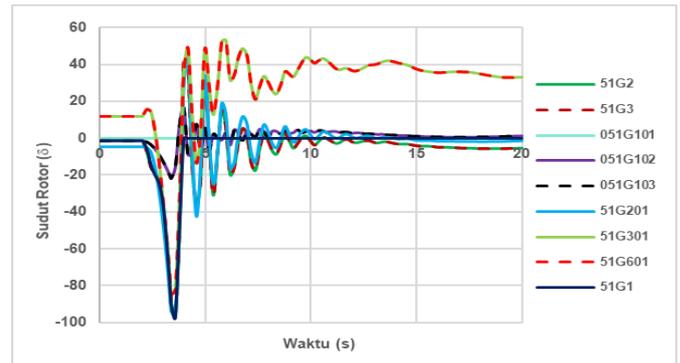
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya

event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 05EE0101A. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 1.34 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 1.35 s, setelah gangguan.



Gambar. 8. Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 1.34s

Gambar 8 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.34 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai -95.72° di waktu 3.55 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi 34.56° di waktu 4.15 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



Gambar. 9. Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 1.35s

Gambar 9 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.35 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai -97.5° di waktu 3.56 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 1.34 s mencapai -95.72° di waktu 3.55 s. Meskipun penurunan tidak terlalu signifikan, akan tetapi ketika generator 51G1 (8 MW-Area 50) mengayun dengan mengalami kenaikan sudut rotor, sudut berhenti pada nilai 0° secara tiba - tiba di waktu 3.96 s. Sehingga bisa dikatakan bahwa, 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mempertahankan kestabilannya atau *off* berhenti bekerja karena kehilangan sinkronisasinya.

4) Rekapitulasi Hasil Penentuan Critical Clearing Time (CCT)

Tabel. 2. Rekapitulasi Hasil Penentuan CCT

Case	Type Bus	Area	ID Bus	CCT (s)
1	Bus Generator	Area 50	50EE501	0.68 - 0.69
2	Bus Generator		50EE502	0.68 - 0.69
3	Bus Generator		50EE503	0.68 - 0.69
4	Bus Sinkron		50EE504	0.68 - 0.69
5	Bus Generator	Area 500	500EE0001	0.45-0.46
6	Bus Generator		500EE0101	0.45-0.46
7	Bus Generator		500EE2101	0.45-0.46

8	Bus Sinkron	Area 05	500EE0002	0.45-0.46
9	Bus Generator		05EE0101A	1.34-1.35
10	Bus Generator		05EE0101B	1.34-1.35
11	Bus Generator		05EE0101C	1.34-1.35
12	Bus Sinkron		05EE0101D	1.34-1.35

C. Evaluasi Setting Waktu Proteksi Eksisting Rele Overcurrent (OCR) dengan Mempertimbangkan Critical Clearing Time (CCT)

1) Perbandingan Setting Proteksi Eksisting dengan Critical Clearing Time

Dengan melakukan perbandingan kedua nilai tersebut antara setting proteksi eksisting dengan CCT, akan didapatkan status dan konklusi apakah setting eksisting yang sudah tepat dan sudah mempertimbangkan *transient stability assesment*. Setting waktu eksisting dikatakan sudah sesuai ketika setting proteksi yang digunakan, waktu operasinya nilainya dibawah nilai critical clearing time yang didapat atau ($TOP < CCT$).

Tabel. 3. Perbandingan CCT dengan Setting OCR Eksisting

Case	Type Bus	Area	ID Bus	TOP Setting Eksisting	CCT (s)	Status
1	Bus Generator	Area 50	50EE501	0.778s	0.68 - 0.69	Tidak Aman
2	Bus Generator		50EE502	2.13s	0.68 - 0.69	Tidak Aman
3	Bus Generator		50EE503	2.13s	0.68 - 0.69	Tidak Aman
4	Bus Sinkron		50EE504	0.945s	0.68 - 0.69	Tidak Aman
5	Bus Generator	Area 500	500EE0001	4.15s	0.45-0.46	Tidak Aman
6	Bus Generator		500EE0101	0.8s	0.45-0.46	Tidak Aman
7	Bus Generator		500EE2101	0.76s	0.45-0.46	Tidak Aman
8	Bus Sinkron		500EE0002	0.4s	0.45-0.46	Aman
9	Bus Generator	Area 05	05EE0101A	1.78s	1.34-1.35	Tidak Aman
10	Bus Generator		05EE0101B	1.78s	1.34-1.35	Tidak Aman
11	Bus Generator		05EE0101C	1.78s	1.34-1.35	Tidak Aman
12	Bus Sinkron		05EE0101D	0.394s	1.34-1.35	Aman

Dari hasil perbandingan setting waktu proteksi eksisting rele *overcurrent* dengan CCT pada tabel 3,

didapatkan beberapa status untuk setiap kasus yang dianalisa. Dari 12 kasus yang ada, 10 kasus membutuhkan rekomendasi yang tepat, hal ini dikarenakan setting waktu proteksi eksisting rele OCR melebihi nilai CCT yang didapat. Kasus No. 8 dan No. 12 merupakan kasus - kasus yang statusnya sesuai atau bisa dikatakan setting waktu eksisting sudah dikategorikan mempertimbangkan *transient stability assesment*, karena waktu operasinya dibawah nilai CCT.

2) Rekomendasi Perbaikan Setting Proteksi Eksisting dengan Pertimbangan Transient Stability Assessment

Setelah setting pengaman eksisting dibandingkan dengan CCT, terdapat 10 kasus dengan status yang tidak aman atau dibutuhkan rekomendasi yang tepat sesuai dengan permasalahan dan sistem kelistrikannya, sehingga bentuk rekomendasi yang paling tepat ialah menurunkan waktu operasi dibawah waktu CCT. Rekomendasi dengan perbaikan setting berupa menurunkan waktu operasi pemutusan dapat dilakukan dengan dua cara beserta pertimbangannya, yaitu :

- o Resetting waktu rele overcurrent
 Setting rele dapat diturunkan sesuai dengan kebutuhan, akan tetapi resetting yang dilakukan harus dipastikan tidak mengganggu time grading atau waktu interval, setting yang digunakan rele - rele overcurrent sebelumnya.
- o Penggunaan rele differensial (87)
 Rele differensial merupakan rele dengan waktu sensing yang sangat cepat, dengan waktu sensing 1-3 cycle. Rele ini fungsi operasinya mendeteksi adanya gangguan dilingkup daerah yang dilindungi, dan tidak terkoordinasi dengan rele lain.

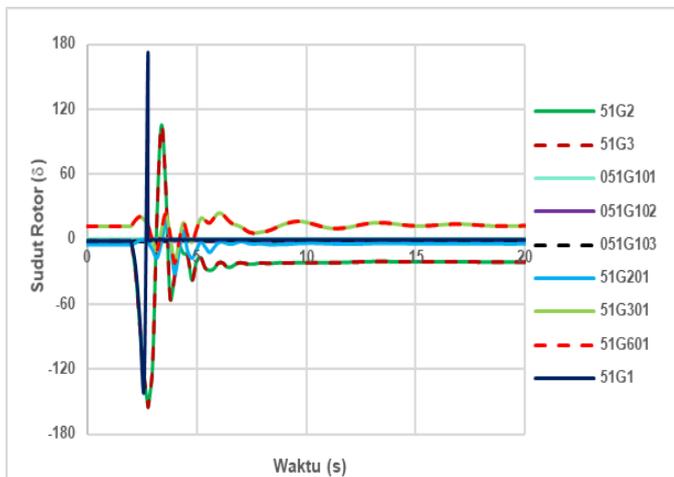
Tabel. 4. Data Rekapitulasi Hasil Penentuan Rekomendasi

Case	Area	ID Bus	Rekomendasi	Resetting	CCT (s)	Status
1	Area 50	50EE501	Resetting Rele Overcurrent	0.588s	0.68 - 0.69	Aman
2		50EE502	Resetting Rele Overcurrent	0.626s	0.68 - 0.69	Aman
3		50EE503	Resetting Rele Overcurrent	0.626s	0.68 - 0.69	Aman
4		50EE504	Resetting Rele Overcurrent	0.385s	0.68 - 0.69	Aman
5	Area 500	500EE0001	Penggunaan Rele Differential	0.12s	0.45 - 0.46	Aman

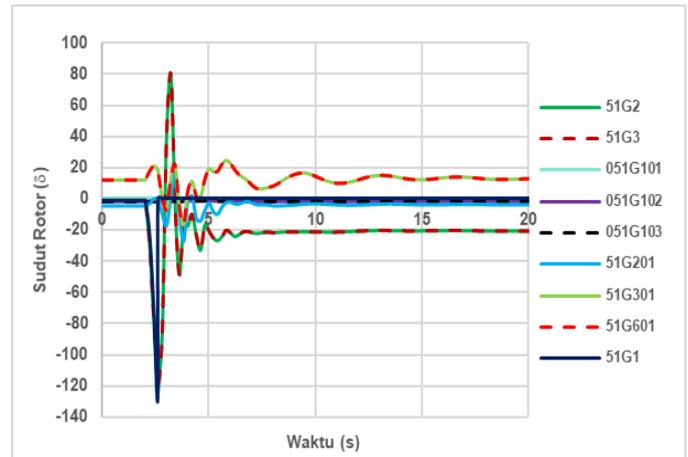
6		500EE0101	Penggunaan Rele Differential	0.12s	0.45 - 0.46	Aman
7		50EE2101	Penggunaan Rele Differential	0.08s	0.45 - 0.46	Aman
9	Area 05	05EE0101A	Resetting Rele Overcurrent	0.704s	1.34 - 1.35	Aman
10		05EE0101B	Resetting Rele Overcurrent	0.714s	1.34 - 1.35	Aman
11		05EE0101C	Resetting Rele Overcurrent	0.641s	1.34 - 1.35	Aman

3) Perbandingan Respon Parameter Kestabilan Menggunakan Hasil Evaluasi Resetting dengan Respon Setting Eksisting

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 0.778s pada bus 50EE501 dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.588s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



Gambar. 10. Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.778s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



Gambar. 11. Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.558s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

Gambar 10 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.778 s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G2 (8 MW-Area 50) dan 51G3 (8 MW-Area 50) menurun mencapai -154.54° , diwaktu yang 2.79 s. Simpangan terbesar dicapai oleh generator 51G1 (8 MW-Area 50) 170.94° di waktu 2.78s dekat dengan kondisi kritisnya hingga gangguan diputus. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

Gambar 11 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele *overcurrent*. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh 51G1 (8 MW-Area 50) -131.31° dan yang tertinggi dicapai oleh 51G2 (8 MW-Area 50) dan 51G3 (8 MW-Area 50) 80.24° diwaktu 3.2s. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

Didapatkan hasil yang sesuai juga untuk seluruh case yang sudah dilakukan evaluasi dan yang membutuhkan rekomendasi

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dan analisis *Transient Stability Assessment* sebagai bahan evaluasi setting waktu rele pengaman pada PT. Pertamina RU IV Cilacap, dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut :

- Kondisi *initial* sistem kelistrikan, setting kontroler governor maupun exciter, *magnitude* dan durasi gangguan sangat berpengaruh besar terhadap respon parameter kestabilan yang dianalisa sebagai bahan penentuan CCT.
- Dari 12 macam kasus evaluasi setting waktu rele pengaman dengan CCT, terdapat 10 kasus yang dapat menyebabkan kondisi sistem kelistrikan tidak aman atau belum memenuhi nilai *critical clearing time* ($TOP < CCT$), sehingga dibutuhkan rekomendasi evaluasi yang sesuai.
- Nilai CCT yang didapat dari 4 kasus pada area 05, yang memiliki generator berkapasitas besar 20 MW yang seragam bernilai lebih baik dibanding nilai CCT pada area 50 dan 500, yang memiliki generator berkapasitas lebih rendah.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diberikan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

- Evaluasi yang dilakukan merekomendasikan untuk penggunaan rele differensial yang mana dapat mengisolir gangguan dengan cepat 1-3 cycle dan settingnya sendiri tidak mengganggu setting koordinasi yang digunakan, sehingga penggunaannya dapat mengamankan secara spesifik sesuai kebutuhan dan memperpanjang usia peralatan yang dilindungi.
- *Transient Stability Assessment* dibutuhkan untuk menganalisa kestabilan sistem dan menentukan CCT, sehingga sebaiknya CCT dapat dipertimbangkan sebagai bahan evaluasi perbaikan setting waktu rele pengaman yang digunakan pada plant yang sebenarnya.

Daftar Pustaka

- [1] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "Definition and Classification of Power System Stability", IEEE Transactions on Power system , vol. 19, no. 2, may 2004.
- [2] IEEE, "Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants", 1987. IEEE Std C37.106-2003 (Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987).
- [3] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, Power system analysis. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [4] P. Kundur, "Power System Stability and Control," McGraw-Hill, 1994
- [5] H. Saadat, Power System Analysis. United State of America: The McGraw-Hill 1999.
- [6] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. J. Overbye, Power System Analysis and Design. United States of America: Chris Carson, 2008.
- [7] R. F. Wijanarko, "Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pertamina RU IV Cilacap Akibat Integrasi dengan PLN," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [8] S. Atmaja, "Perhitungan Critical Clearing Time dengan Menggunakan Metode Time Domain Simulation," J. Tek. ITS, 2012.
- [9] M. M. I. Fathoni, "Analisis Setting Waktu Rele Pengaman Di PT. Pupuk Sriwidjaja Dengan Mempertimbangkan Transient Stability Assessment," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [10] S. d. F. Goncalves, "Investigating The Dynamic Performance of Generator-Pole-Slip Protection," Master, Power and Energy Systems, University of KwaZulu-Natal, South Africa, 2013.
- [11] S. J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2012.