

Evaluasi *Setting* Waktu Rele Pengaman di PT. Petrokimia Gresik dengan Mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*

¹Fauzan Fakhrol Arifin, ²Ardyono Priyadi, ³Dimas Fajar Uman Putra

Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

¹fauzanfakhrol@gmail.com, ²priyadi@ee.its.ac.id, ³dimasfup@gmail.com

Abstrak— Pada suatu sistem tenaga listrik, koordinasi proteksi yang baik sangat diperlukan agar keandalan dan kontinuitas pendistribusian tenaga listrik menjadi lebih tinggi. Ketika terjadi gangguan, rele pengaman akan mendeteksi gangguan dan mentrigger *circuit breaker* untuk bekerja dalam waktu tertentu untuk mengisolir gangguan, namun hal ini tidak menjamin sistem masih berada dalam kondisi stabil. Analisis kestabilan transien dibutuhkan agar keandalan dan kestabilan sistem terjaga. Analisis kestabilan transien erat kaitannya dengan perhitungan nilai *CCT* (*Critical Clearing Time*). *CCT* merupakan perhitungan batas waktu pemutusan kritis setelah terjadi gangguan. Dengan kata lain, agar sistem dapat kembali stabil, maka saat terjadi gangguan sistem harus diputus sebelum waktu *CCT*. Saat ini, sistem kelistrikan pada PT. Petrokimia Gresik telah mempunyai *setting* rele pengaman, namun *setting* waktu rele yang diterapkan belum mempertimbangkan nilai dari *CCT*. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan nilai *CCT* sehingga perusahaan menjadi lebih andal, stabil, dan terjaga kontinuitasnya. Nilai *CCT* yang didapatkan nantinya akan dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk *setting* waktu rele pengaman. Metode yang digunakan adalah *Time Domain Simulation method (TDS)* dengan memperhatikan respon sudut rotor generator. Dari analisis yang telah dilakukan, masih terdapat delapan bus yang *setting* waktu rele pengamannya masih memerlukan perbaikan karena masih bekerja di atas nilai *CCT*. Oleh karena itu, diberikan rekomendasi yaitu penambahan peralatan pengaman berupa rele diferensial yang mampu bekerja mengisolir gangguan dalam waktu 1-3 *cycle* sehingga sistem dapat berada dalam kondisi stabil.

Kata Kunci— evaluasi *setting* waktu rele; kestabilan transien; *critical clearing time*

Abstract— *Electric power system requires the good protection coordination so that the reability and continuity of electricity distribution to get better. When an interruption occurs, the relay protection detects the interference and triggers the circuit breaker to work within a certain time to isolate the interference, but this does not guarantee the system is still in stable condition. Transient stability analysis is required so that the reability and stability of the systems fullfilled. The transient stability analysis closely related to the CCT (Critical Clearing Time). CCT is the calculation of the critical time limit after the disturbance occurs. In other words, when a system failure occurs, it must be disconnected before the*

time of CCT, so the system can return to the stable condition. Currently, the electrical system at PT. Petrokimia Gresik already has the protection relay time settings, but the time settings applied have not considered the value of CCT. Therefore, it is necessary to calculate the values of CCT so that the reability, stability, and continuity of the systems fullfilled. CCT value obtained later will be taken into consideration for the protection relay time settings. The method used is Time Domain Simulation method (TDS) with observe to rotor generator response. From the analysis that has been done, there are eight buses that still require recommendation because it still works above the value of CCT. Therefore, given a recommendation the addition of safety equipment in the form of differential relay that can work to isolate the interruption within 1-3 cycles so that the system can be in stable condition.

Keywords- *evaluation of the protection relay time settings, transient stability, critical clearing time*

I. Pendahuluan

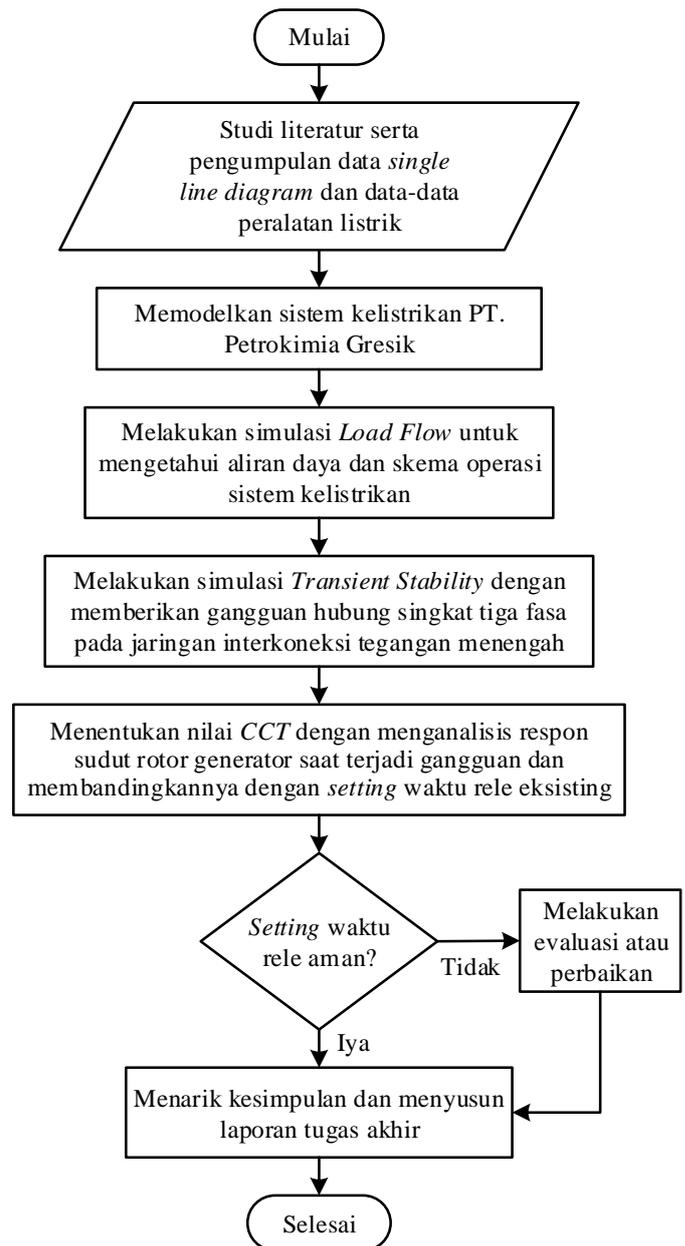
Indonesia merupakan salah satu negara maritim dan semi agraris terbesar di dunia yang tentunya tidak dapat dipisahkan dari bidang pertanian sebagai sektor utama komoditas bahan pangan, dan pupuk merupakan bahan pendukung utama berkembangnya bidang ini. PT. Petrokimia Gresik sebagai salah satu perusahaan pupuk terbesar di Indonesia, tentu saja dituntut untuk dapat memajukan bangsa Indonesia dari segi pertanian maupun perkebunan. Sebuah industri yang besar, tentu tak lepas dari peran dan kebutuhan listrik yang besar pula di dalamnya. Kebutuhan tenaga listrik merupakan suatu hal yang krusial pada dunia industri untuk menjamin keberlangsungan proses produksi, tak terkecuali pada PT. Petrokimia Gresik. Saat ini, kebutuhan kelistrikan pada PT. Petrokimia Gresik

disuplai dari sumber PLN dan beberapa pembangkit mandiri yang telah terinterkoneksi pada tegangan 20 kV.

Pada suatu sistem tenaga listrik, dibutuhkan sistem pengaman yang mampu bekerja secara cepat dan tepat [1]. Maka dari itu, koordinasi proteksi yang baik sangat diperlukan agar keandalan dan kontinuitas pendistribusian tenaga listrik menjadi lebih tinggi. Ketika terjadi gangguan, rele pengaman akan mendeteksi gangguan dan *trigger circuit breaker* untuk bekerja dalam waktu tertentu untuk mengisolir gangguan, namun hal ini tidak menjamin sistem masih berada dalam kondisi stabil. Suatu sistem tenaga listrik dikatakan stabil apabila saat terjadi gangguan, sistem tersebut dapat tetap berada dalam keadaan seimbang, atau setelah terjadi gangguan dapat kembali ke keadaan normalnya [2]. Analisis kestabilan transien dibutuhkan agar keandalan dan kestabilan sistem terjaga. Pada sistem tenaga listrik, analisis kestabilan transien erat kaitannya dengan perhitungan nilai *CCT (Critical Clearing Time)*.

CCT merupakan perhitungan batas waktu pemutusan kritis setelah terjadi gangguan. Dengan kata lain, agar sistem dapat kembali stabil, maka saat terjadi gangguan sistem harus diputus sebelum waktu *CCT* [3], [4]. Salah satu cara untuk mendapatkan nilai *CCT* adalah dengan menggunakan metode *Time Domain Simulation (TDS)* [5]. Saat ini, sistem kelistrikan pada PT. Petrokimia Gresik telah mempunyai *setting* waktu rele pengaman, namun *setting* yang diterapkan belum mempertimbangkan nilai dari *CCT*. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis *setting* waktu rele pengaman dengan mempertimbangkan *Transient Stability Assessment* pada PT. Petrokimia Gresik dengan memperhatikan respon sudut rotor generator akibat gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi [6]. Nilai *CCT* yang didapatkan nantinya akan dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk *setting* waktu rele pengaman yang akan diterapkan untuk mengantisipasi terjadinya ketidakstabilan sistem setelah adanya gangguan.

II. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

III. Teori Penunjang

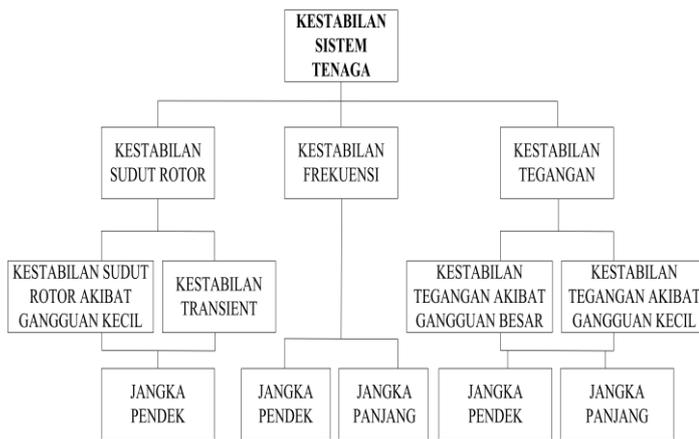
A. Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Pada suatu sistem tenaga listrik, koordinasi proteksi yang baik sangat diperlukan agar keandalan dan kontinuitas pendistribusian tenaga listrik dapat menjadi

lebih tinggi. Ketika terjadi gangguan, rele pengaman akan mendeteksi gangguan dan mentrigger *circuit breaker* untuk bekerja dalam waktu tertentu untuk mengisolir gangguan. Hal ini dimaksudkan agar penyaluran distribusi tenaga listrik tidak terganggu dan peralatan tenaga listrik dapat lebih terjaga dari ancaman kerusakan karena gangguan [7]. Maka dari itu, sistem pengaman tenaga listrik harus didesain agar memiliki koordinasi yang baik pada setiap rele sehingga dapat mengisolir gangguan secara cepat dan tepat.

B. Kestabilan Sistem Tenaga

Kestabilan merupakan salah satu hal pokok dalam suatu sistem tenaga listrik. Suatu sistem tenaga listrik dikatakan stabil apabila saat terjadi gangguan, sistem tersebut dapat tetap berada dalam keadaan seimbang, atau setelah terjadi gangguan dapat kembali ke keadaan normalnya [2]. Suatu sistem tenaga listrik yang stabil akan memperoleh keseimbangan antara daya input dan daya output, yaitu daya mekanik pada *prime mover* dan daya elektrik pada sistem.

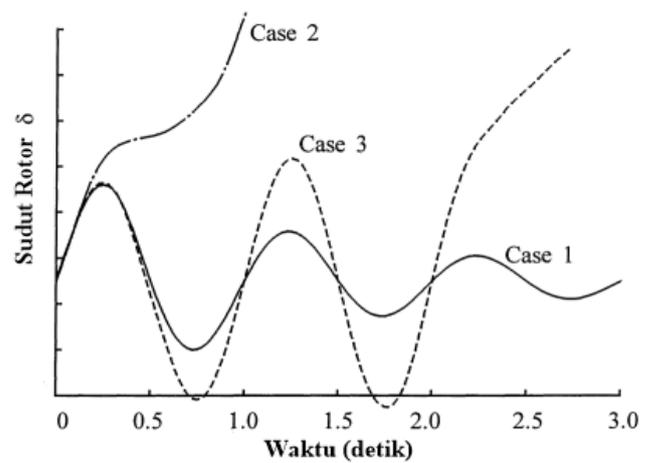


Gambar 2. Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik [4]

Mengacu pada referensi [4], yaitu *Definition and Classification of Power System Stability*, paper dari *IEEE Transactions on Power Systems*, kestabilan sistem tenaga listrik diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi, dan kestabilan tegangan.

1. Kestabilan Sudut Rotor

Dalam suatu sistem tenaga listrik, kestabilan sudut rotor diartikan sebagai kemampuan dari interkoneksi mesin-mesin sinkron yang ada dalam suatu sistem untuk dapat tetap mempertahankan sinkronisasinya setelah terjadi gangguan. Dalam hal ini, masing-masing mesin harus mampu menyeimbangkan torsi mekanik dan torsi elektromagnetik. Apabila mesin tidak mampu menjaga kestabilannya, maka akan terjadi perubahan kecepatan sudut ayunan yang akan menyebabkan generator mengalami hilang sinkronisasi dengan sistem [2].



Gambar 3. Respon Sudut Rotor Ketika Terkena Gangguan Transien

Menurut referensi [2], terdapat tiga respon sudut rotor terhadap waktu untuk mesin sinkron pada saat terkena gangguan transien yang dapat dilihat pada gambar 2. Respon pertama (*case 1*) menunjukkan respon sudut rotor yang dikatakan stabil. Sudut rotor akan meningkat hingga maksimumnya kemudian amplitudonya turun dan berosilasi hingga mencapai kondisi *steady state*. Pada respon yang kedua (*case 2*), nilai sudut rotor terus mengalami kenaikan pada ayunan pertama sehingga menyebabkan kehilangan sinkronisasi. Respon yang ketiga (*case 3*) menunjukkan respon sudut rotor yang stabil pada saat ayunan pertama, namun kemudian mengalami osilasi dan kenaikan amplitudo sehingga menyebabkan sistem menjadi tidak stabil.

2. Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga untuk dapat tetap mempertahankan frekuensinya dalam kondisi stabil saat terjadi gangguan besar. Dalam hal ini, gangguan biasanya berupa perubahan daya beban atau perubahan daya pembangkitan yang signifikan sehingga menyebabkan tidak tercapainya titik keseimbangan sistem [8]. Batas operasi frekuensi yang diizinkan terdapat pada IEEE Std. C37.106-2003 [9] yang berisi standar operasi pada *steam turbin generator* dalam frekuensi 60 Hz.

3. Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk dapat tetap mempertahankan nilai tegangan pada semua bus sistem untuk tetap stabil setelah terjadi gangguan. Hal ini bergantung pada kemampuan sistem untuk dapat bertahan pada kesetimbangan antara *supply* daya pembangkit dan kebutuhan beban. Gangguan kestabilan tegangan terbagi menjadi dua, yaitu kestabilan tegangan gangguan besar dan kestabilan tegangan gangguan kecil dalam jangka panjang dan jangka pendek [4]. Pengoperasian nilai tegangan memakai dua standar. Untuk kedip tegangan, dipakai standar IEEE 1159-1995 [10], sedangkan ketika tegangan pada sistem stabil, maka standar operasi tegangan yang dipakai adalah standar PLN.

C. Kestabilan Transien

Kestabilan transien merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk dapat tetap bertahan pada kondisi setimbang saat terkena gangguan transien. Dalam hal ini, parameter yang perlu diperhatikan adalah respon sudut rotor generator saat gangguan besar secara tiba-tiba pada suatu sistem [6]. Analisis mengenai kestabilan transien (*Transient Stability Assessment*) merupakan hal yang penting. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem untuk dapat kembali ke kondisi stabil atau setimbang saat terjadi gangguan transien [6]. Suatu sistem tenaga listrik dapat dikatakan stabil saat kondisi *steady state*, namun belum tentu sistem tersebut

dapat stabil pada saat keadaan transien. Beberapa faktor yang dapat memicu terjadinya gangguan transien, antara lain adalah *generator outage*, *short circuit*, *starting motor-motor besar* pada sistem, atau lepasnya beban besar secara tiba-tiba.

D. Persamaan Ayunan

Pada mesin-mesin sinkron, gerakan atau putaran rotornya diatur oleh suatu persamaan yang menganut prinsip dasar dinamika, yaitu besar momen putar percepatan (*accelerating torque*) ialah hasil operasi perkalian dari percepatan sudut dengan momen inersia atau momen kelembaman rotor [11]. Persamaan (1) merupakan representasi persamaan generator sinkron:

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \dots \dots \dots (1)$$

Dimana simbol-simbol tersebut mempunyai arti:

- J : Momen inersia total dari massa rotor ($kg \cdot m^2$)
- θ_m : Pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam dalam radian mekanis (rad)
- t : Waktu (s)
- T_a : Momen putar kecepatan percepatan ($N \cdot m$)
- T_m : Momen putar mekanis atau poros penggerak yang diberikan oleh *prime mover* dikurangi dengan momen putar perlambatan (*retarding*) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran ($N \cdot m$)
- T_e : Momen putar listrik ($N \cdot m$)

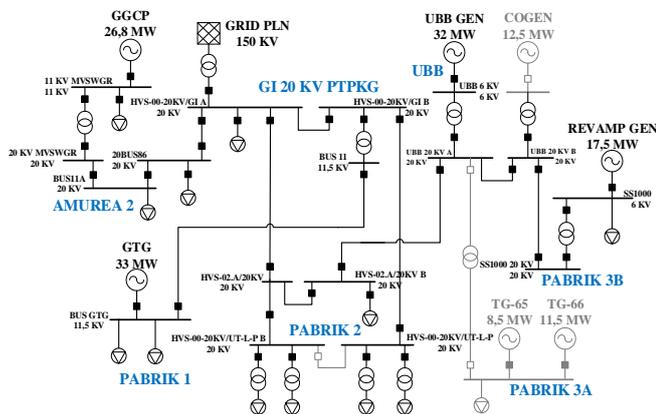
E. Waktu Pemutusan Kritis (*Critical Clearing Time*)

Critical Clearing Time merupakan perhitungan batas waktu pemutusan kritis setelah terjadi gangguan. Dengan kata lain, agar sistem dapat kembali stabil, maka saat terjadi gangguan sistem harus diputus sebelum waktu *CCT* [3], [4]. Oleh karena itu, agar generator dapat tetap berada dalam kondisi stabil dan tidak mengalami lepas sinkron dari sistem, maka waktu pemutusan gangguan harus memperhatikan nilai dari *CCT*. Salah satu cara untuk mendapatkan nilai *CCT* adalah dengan menggunakan *Time Domain Simulation*

method (TDS) [5].

IV. Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik

Pada PT. Petrokimia Gresik, terdapat lima area pabrik, yaitu Pabrik 1, Pabrik 2, Pabrik 3A, Pabrik 3B, dan area Amurea 2. Sistem kelistrikannya menggunakan konfigurasi semi-radial, dimana hampir semua area pabrik PT. Petrokimia Gresik telah terintegrasi antara satu pembangkit dengan pembangkit yang lainnya, kecuali untuk area Pabrik 3A yang dalam kondisi normalnya beroperasi *islanding* dengan suplai daya dari generator TG-65 dan TG-66 dengan daya mampu masing-masing sebesar 8,5 MW dan 11,5 MW.



Gambar 4. Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik

Total beban pada sistem kelistrikan di PT. Petrokimia Gresik dalam kondisi operasi normal adalah sekitar 77 MW. Beban ini disuplai oleh beberapa pembangkit yang aktif, diantaranya pembangkit GGCP dengan daya mampu 23 MW, GTG dengan daya mampu 24 MW, UBB dengan daya mampu 15 MW, dan Revamp Gen dengan daya mampu 12 MW. Selain itu, sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik juga telah dilakukan interkoneksi dengan grid PLN dengan kontrak daya sebesar 20 MVA.

V. Hasil dan Pembahasan

A. Studi Kasus Kestabilan Transien

Dalam penelitian ini, analisis kestabilan transien dilakukan pada bagian jaringan interkoneksi tegangan menengah sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik.

Beberapa bus yang akan dianalisis dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Bus yang Akan Dilakukan Analisis Kestabilan Transien

No.	Bus ID	Level Tegangan	Lokasi
1	11 KV MVSWGR	11 kV	Amurea 2
2	20 KV MVSWGR	20 kV	Amurea 2
3	BUS11A	20 kV	Amurea 2
4	20BUS86	20 kV	Amurea 2
5	HVS-00-20KV/GI A	20 kV	GI PT. PKG
6	HVS-00-20KV/GI B	20 kV	GI PT. PKG
7	UBB 6 KV	6 kV	UBB
8	UBB 20 KV A	20 kV	UBB
9	UBB 20 KV B	20 kV	UBB
10	BUS 11	11,5 kV	GI PT. PKG
11	BUS GTG	11,5 kV	Pabrik 1
12	HVS-02.A/20KV	20 kV	Pabrik 2
13	HVS-02.A/20KV B	20 kV	Pabrik 2
14	HVS-00-20KV/UT-L-P B	20 kV	Pabrik 2
15	HVS-00-20KV/UT-L-P	20 kV	Pabrik 2
16	SS1000	6 kV	Pabrik 3B
17	SS1000 20 KV	20 kV	Pabrik 3B

B. Hasil Simulasi Kestabilan Transien dan Penentuan Nilai Critical Clearing Time (CCT)

Dalam simulasi ini akan diamati perubahan sudut rotor pada setiap generator ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa. *Event* yang digunakan untuk mengisolir gangguan pada penelitian ini yaitu *circuit breaker open* untuk bus yang jauh dari generator dan *clearing fault* untuk bus yang dekat dengan generator. Hal ini bertujuan agar tetap dapat mengamati perilaku generator setelah gangguan terisolir mengingat *plant* yang diamati menggunakan *single* saluran. Nilai *CCT* didapatkan dengan cara *trial and error* dari waktu pemutusan *circuit breaker* sehingga didapatkan *range* waktu stabil dan waktu tidak stabil dari sudut rotor generator.

Contoh kasus adalah pada BUS GTG. Pada studi kasus ini akan disimulasikan terjadinya hubung singkat

Tabel 2. Perbandingan waktu *trip* rele pengaman eksisting PT. Petrokimia Gresik dengan hasil *CCT*

No.	Bus ID	Waktu <i>Trip</i> Rele	Nilai <i>CCT</i>	Keterangan
1	11 KV MVSWGR	0,95s	0,25s-0,26s	Perlu Rekomendasi
2	20 KV MVSWGR	0,53s	0,62s-0,63s	Aman
3	BUS11A	0,32s	0,64s-0,65s	Aman
4	20BUS86	0,54s	0,39s-0,40s	Perlu Rekomendasi
5	HVS-00-20KV/GI A	0,95s	0,40s-0,41s	Perlu Rekomendasi
6	HVS-00-20KV/GI B	0,66s	0,36s-0,37s	Perlu Rekomendasi
7	UBB 6 KV	0,25s	0,73s-0,74s	Aman
8	UBB 20 KV A	0,95s	0,37s-0,38s	Perlu Rekomendasi
9	UBB 20 KV B	0,74s	0,46s-0,47s	Perlu Rekomendasi
10	BUS 11	0,35s	0,42s-0,43s	Aman
11	BUS GTG	0,94s	0,38s-0,39s	Perlu Rekomendasi
12	HVS-02.A/20KV	0,51s	0,52s-0,53s	Aman
13	HVS-02.A/20KV B	0,76s	0,48s-0,49s	Perlu Rekomendasi
14	HVS-00-20KV/UT-L-P B	0,33s	0,37s-0,38s	Aman
15	HVS-00-20KV/UT-L-P	0,55s	1,93s-1,94s	Aman
16	SS1000	0,30s	0,31s-0,32s	Aman
17	SS1000 20 KV	0,35s	0,36s-0,37s	Aman

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa terdapat delapan *setting* waktu rele pengaman yang memerlukan perbaikan karena nilai waktu *trip*nya masih di atas hasil *CCT* yang ditemukan, antara lain bus 11 KV MVSWGR, 20BUS86, HVS-00-20KV/GI A, HVS-00-20KV/GI B, UBB 20 KV A, UBB 20 KV B, BUS GTG, dan HVS-02.A/20KV B.

D. Evaluasi Setting Waktu Rele Pengaman di PT. Petrokimia Gresik dengan Mempertimbangkan Transient Stability Assessment

Beberapa rele pengaman pada PT. Petrokimia Gresik masih bekerja mengisolir gangguan di atas nilai *CCT* yang ditemukan. Oleh karena itu, perlu adanya perbaikan untuk mengatasi permasalahan ini sehingga *setting* waktu rele pengaman yang mempertimbangkan

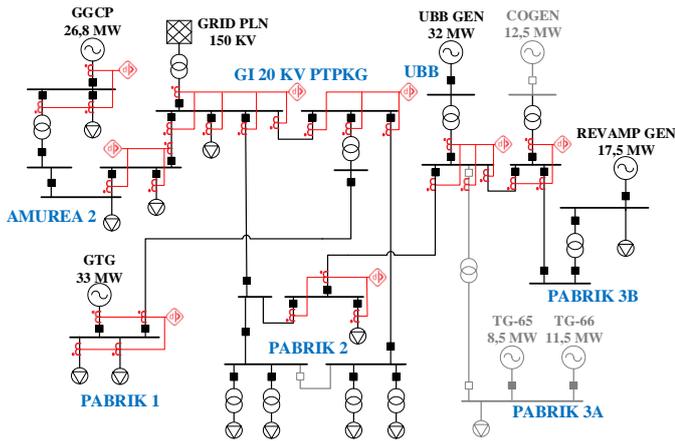
Transient Stability Assessment dapat bekerja mengisolir gangguan di bawah nilai *CCT*.

Pada penelitian ini, penulis memberikan rekomendasi yaitu menambahkan peralatan pengaman berupa rele diferensial yang akan dipasang pada bus-bus yang memerlukan rekomendasi. Hal ini dikarenakan pada saat terjadi gangguan pada bus tersebut, peralatan pengaman yang ada belum dapat bekerja mengisolir gangguan di bawah nilai *CCT*. Rele diferensial sendiri dipilih sebagai rekomendasi dikarenakan *setting* waktu rele pengaman eksisting sudah tidak dapat dilakukan *resetting* karena nilai *CCT* yang terlalu kecil sedangkan nilai koordinasi *setting* waktu rele pengaman dari bawah sudah besar. Alasan lainnya yaitu kemampuan rele diferensial yang dapat bekerja mengisolir gangguan dengan waktu yang sangat cepat. Rele diferensial dapat *disetting* dengan waktu kerja 1-3 *cycle* atau 0,02-0,06 detik sesuai dengan kebutuhan.

Tabel 3. Hasil Perbaikan *Setting* Waktu Rele Pengaman

No.	Bus ID	Waktu <i>Trip</i> Rele	Nilai <i>CCT</i>	Keterangan
1	11 KV MVSWGR	0.072s	0.25s-0.26s	Aman
2	20BUS86	0.07s	0.39s-0.40s	Aman
3	HVS-00-20KV/GI A	0.072s	0.40s-0.41s	Aman
4	HVS-00-20KV/GI B	0.072s	0.36s-0.37s	Aman
5	UBB 20 KV A	0.072s	0.37s-0.38s	Aman
6	UBB 20 KV B	0.072s	0.46s-0.47s	Aman
7	BUS GTG	0.066s	0.38s-0.39s	Aman
8	HVS-02.A/20KV B	0.09s	0.48s-0.49s	Aman

Setelah dilakukan evaluasi *setting* waktu rele pengaman di PT. Petrokimia Gresik dan melakukan perbaikan dengan memberikan peralatan pengaman tambahan berupa rele diferensial, maka semua peralatan pengaman dapat bekerja di bawah nilai *CCT*. Hal ini dapat menambah kestabilan dan keandalan sistem kelistrikan pada PT. Petrokimia Gresik.

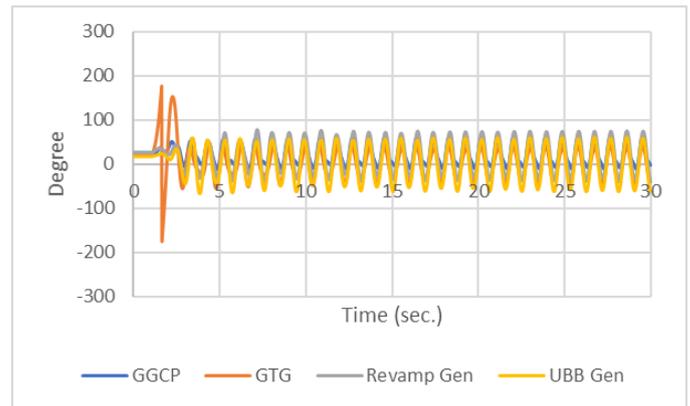


Gambar 8. Pemasangan Rele Diferensial pada Bus yang Memerlukan Perbaikan

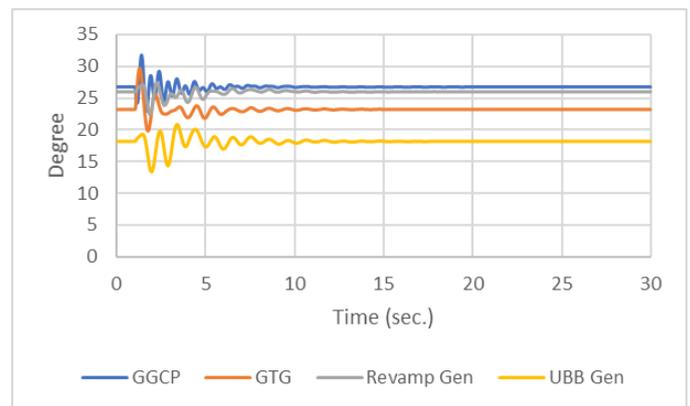
E. Perbandingan Respon Sudut Rotor Generator Sebelum dan Sesudah Dilakukan Evaluasi

Setelah melakukan evaluasi dengan memberikan peralatan pengaman tambahan berupa rele diferensial pada delapan bus yang memerlukan rekomendasi, maka respon sudut rotor generator akan menjadi stabil ketika mengalami gangguan.

Contoh kasus adalah perbaikan pada studi kasus BUS GTG. Pada bagian ini akan ditampilkan perbandingan respon sudut rotor generator sebelum dan sesudah dilakukan evaluasi. Sebelum evaluasi, gangguan hilang pada saat 0,94 detik. Sedangkan setelah dilakukan penambahan rele diferensial, gangguan dapat diisolir dengan waktu 0,066 detik. Perbandingan grafik respon sudut rotor generator sebelum dan sesudah evaluasi pada BUS GTG dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Respon sudut rotor studi kasus BUS GTG sebelum evaluasi



Gambar 10. Respon sudut rotor studi kasus BUS GTG setelah evaluasi

Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan evaluasi, respon sistem tidak stabil. Sudut rotor pada semua generator mengalami osilasi dengan simpangan sudut yang cukup tinggi secara terus-menerus. Sedangkan pada gambar 10 yaitu setelah penambahan rele diferensial, respon sistem menjadi stabil yang ditandai dengan respon semua sudut rotor generator mampu kembali dalam kondisi stabilnya.

VI. Kesimpulan

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisis data yang telah dilakukan pada penelitian ini,

maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *critical clearing time* dapat ditemukan dengan melihat respon sudut rotor generator ketika gangguan diisolir.
2. Dari simulasi dan analisis data yang telah dilakukan, dengan mempertimbangkan *transient stability assessment*, maka terdapat delapan *setting* waktu rele pengaman pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik yang memerlukan perbaikan karena nilai waktu *tripnya* masih di atas nilai *CCT* yang ditemukan, antara lain bus 11 KV MVSWGR, bus 20BUS86, bus HVS-00-20KV/GI A, bus HVS-00-20KV/GI B, bus UBB 20 KV A, bus UBB 20 KV B, BUS GTG, dan bus HVS-02.A/20KV B.
3. Untuk melakukan perbaikan *setting* waktu rele pengaman, maka direkomendasikan untuk memberikan peralatan pengaman tambahan berupa rele diferensial sehingga ketika terjadi gangguan *short circuit* dapat diisolir dengan waktu 1-3 *cycle* agar sistem dapat kembali stabil.

B. Saran

Mengacu pada hasil penelitian ini, maka saran yang dapat diberikan penulis antara lain:

1. Nilai *critical clearing time* yang telah didapatkan pada penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan untuk perbaikan *setting* waktu rele pengaman dengan mempertimbangkan *transient stability assessment* pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik yang sebenarnya.
2. Sebaiknya dalam melakukan *setting* waktu rele pengaman pada sistem kelistrikan sebenarnya juga mempertimbangkan *transient stability assessment*, terutama pada daerah pembangkit.

Daftar Pustaka

- [1] Anderson, P. M., *Power System Protection*. John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [2] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [3] H. Saadat, *Power System Analysis*. Singapura: McGraw-Hill, Inc., 2004.
- [4] "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, Aug. 2004.
- [5] S. Atmaja, "Perhitungan Critical Clearing Time dengan Menggunakan Metode Time Domain Simulation," Surabaya, 2012.
- [6] M. M. I. Fathoni, "Analisis Setting Waktu Rele Pengaman di PT. Pupuk Sriwidjaja dengan Mempertimbangkan Transient Stability Assessment," Surabaya, 2016.
- [7] "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems," *IEEE Std 242-2001TM*, Dec. 2001.
- [8] J. C. Das, *Transient in Electrical System, Analysis, Recognition, and Mitigation*. McGraw-Hill, Inc., 2010.
- [9] "IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants," *IEEE Std C37106-2003*, 2004.
- [10] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," *IEEE Std 1159-2009*, 2009.
- [11] W. D. Stevenson Jr. and J. J. Granger, *Elements of Power System Analysis, 4th Edition*. McGraw-Hill, Inc., 1994.