

SIMULASI SISTEM MONITORING KONDISI OPERASI SISTEM ENERGI ELEKTRIK (SEE) BERBASISKAN METODE PER UNIT DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK PSCAD

Anggri Sarwati Rahmat^{*1}, Sasmitasari², Abdul Hafid³
¹²³Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar
e-mail: anggrisarwatirahmatt98@gmail.com*

Abstract

The per unit system makes it easy to assess or monitor the condition / situation of the entire SEE, without having to pay attention to the nominal voltage value at the point under review. The system simulation model is monitored by involving transmission lines, transformers and generators with the help of PSCAD (Power System Computer Aided Design) software which provides the flexibility of a special model according to what is desired and analyzes using a system per unit, as well as assembling graphically using a model with take advantage of the intuitively designed design editor. This research was conducted with a simulation method using PSCAD software. Simulations are carried out for both operating conditions in SEE, namely normal and abnormal operation or short-circuit fault. The main components of the system with a three-phase voltage source of 13.8 kV; 50 Hz, three-phase power transformer, 230 kV three-phase load line; 50 Hz and inter-phase (AB) and three-phase (ABC) noise models. From these components, 4 models were made including the actual scale monitoring model with the system per unit under normal operating conditions, the monitoring model based on the system per unit in two-phase and three-phase fault operation conditions. The performance of this model has proven that when the system operating conditions are under normal conditions it can be read properly by looking at the value per unit ≈ 1 p.u. whereas for fault operating conditions the per unit value of the voltage at the point of occurrence of the fault falls to a very low value of about 0.01 p.u (voltage drop of about 90%).

Keyword: System per unit, transformer loading power, 3-phase noise PSCAD / EMTDC software.

Abstrak

Sistem per unit memberikan kemudahan untuk menilai atau memonitor kondisi/ situasi dari keseluruhan SEE, tanpa harus memperhatikan nilai tegangan nominal di titik yang ditinjau. Model simulasi sistem yang dimonitoring dengan melibatkan saluran transmisi, transformator dan generator dengan bantuan perangkat lunak PSCAD (*Power System Computer Aided Design*) yang menyediakan fleksibilitas model khusus sesuai apa yang di inginkan dan analisis menggunakan sistem per unit ,serta merakit secara grafis menggunakan model yang dengan memanfaatkan editor desain yang dirancang secara intuitif. Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan perangkat lunak PSCAD. Simulasi dilakukan untuk kedua kondisi operasi di SEE, yakni operasi normal dan abnormal atau gangguan hubung-singkat. Komponen utama sistem dengan sumber tegangan tiga-fase 13,8 kV; 50 Hz, trafo daya tiga fase, saluran beban tiga fase 230 kV ; 50 Hz dan model gangguan antarfase (AB) dan tiga fase (ABC). Dari komponen-komponen tersebut dibuatlah 4 model diantaranya model monitoring besaran aktual dengan sistem per unit pada kondisi operasi normal, model monitoring berbasis sistem per unit pada kondisi operasi gangguan dua fase dan tiga fase. Performansi dari model ini berhasil membuktikan bahwa pada saat kondisi operasi sistem dalam keadaan normal bisa terbaca dengan baik dengan melihat nilai per unitnya ± 1 p.u. sedangkan untuk kondisi operasi gangguan nilai per unit dari tegangan di titik terjadinya gangguan, jatuh ke nilai yang sangat rendah yakni sekitar 0,01 p.u (jatuh tegangan sekitar 90%).

Kata kunci: Sistem Per unit, Daya pembebanan trafo, Gangguan 3 Fase Perangkat Lunak PSCAD/ EMTDC

1. Pendahuluan

Menurut Liu et al [1] Sistem Energi Elektrik (SEE) merupakan infrastruktur paling kritis di zaman modern. Luas cakupan wilayah dan kompleksitas ekstrem yang dimilikinya, menghadirkan konsekuensi berupa kesulitan dalam hal pengawasan (monitoring) SEE secara penuh. Salah satu sistem/ metode pengawasan SEE yaitu Sistem Monitoring Skala Luas (WAMS). Pada bidang analisis sistem tenaga, sistem per unit adalah ekspresi jumlah sistem sebagai fraksi dari kuantitas unit dasar yang ditentukan [2]. Perhitungan disederhanakan dikarenakan jumlah yang dinyatakan dalam perunit tidak berubah ketika dirujuk dari satu sisi transformator ke yang lainnya. Per unit merupakan sistem penskalaan guna mempermudah kalkulasi dalam proses menghitung dan menganalisa sebuah sistem jaringan listrik. Besaran dalam satuan seperti, tegangan dalam volt, arus dalam ampere, impedansi dalam ohm, masing-masing ditransformasikan kedalam besaran tak berdimensi yaitu per unit (disingkat pu). Menurut Syafii dalam analisa sistem daya nilai-nilai yang harus dihitung cukup besar apabila tetap menggunakan satuan-satuan biasa, sehingga memungkinkan terjadinya kesulitan atau kesalahan dalam perhitungan [3]. Maka dari itu diperlukan sebuah metode untuk mengatasi permasalahan tersebut. Terdapat dua metode yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan menggunakan presentase dan satuan per unit. Kedua metode perhitungan tersebut lebih sederhana dibanding menggunakan nilai-nilai ampere, ohm dan volt yang sebenarnya.

Pada awalnya transformasi dalam per unit dimaksudkan untuk mempermudah perhitungan, namun dengan perkembangan komputer maksud penyederhanaan sudah kurang berarti lagi. Saat ini penyederhanaan sistem per unit sangat bermanfaat bagi sistem yang memiliki beberapa bagian yang dihubungkan oleh trafo dan memiliki level tegangan yang berbeda. Trafo mempunyai level tegangan yang berbeda sehingga terkadang sulit untuk mendeteksi di level tegangan berapa impedansinya sekian, tapi yang dirasakan oleh tegangan yang lain itu belum tentu sama, jadi sulit untuk membandingkan secara langsung dengan menggunakan besaran biasa tanpa mentransformasikan kedalam besaran per unit. Dalam analisis sistem tenaga, adalah praktik umum untuk menggunakan jumlah per unit untuk menganalisis dan mengkomunikasikan nilai tegangan, arus, daya, dan impedansi. Secara historis, nilai per unit telah membuat perhitungan daya yang dilakukan jauh lebih sederhana. Dengan banyak perhitungan yang sekarang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak komputer, ini bukan lagi keunggulan utama. Namun beberapa keunggulan masih ada, misalnya ketika menganalisis tegangan pada skala sistem yang lebih besar dengan banyak tegangan nominal yang berbeda melalui transformator step-up dan step-down, jumlah per unit memberikan cara mudah untuk menilai kondisi keseluruhan sistem tanpa memverifikasi tegangan nominal spesifik masing-masing subsistem [4]. Keuntungan lain adalah kenyataan bahwa jumlah per unit cenderung jatuh dalam kisaran yang relatif sempit, sehingga mudah untuk mengidentifikasi data yang salah. Selain keunggulan ini, sebagian besar perangkat lunak analisis aliran daya memerlukan input dan laporan hasil per unit. Untuk alasan ini, penting bagi insinyur dan teknisi untuk memahami konsep per unit. Manfaat penting sistem per unit adalah kemudahan untuk menilai atau memonitor kondisi/situasi dari keseluruhan SEE, tanpa harus memperhatikan nilai tegangan nominal di titik yang ditinjau. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini mencoba untuk menerapkan model simulasi sistem monitoring status/kondisi operasi SEE dengan metode per unit dengan melibatkan saluran transmisi, transformator dan generator, dengan bantuan perangkat lunak PSCAD (*Power System Computer Aided Design*) yang menyediakan fleksibilitas model khusus sesuai apa yang diinginkan, serta merakit secara grafis menggunakan model yang dengan memanfaatkan editor desain yang dirancang secara intuitif [5][6].

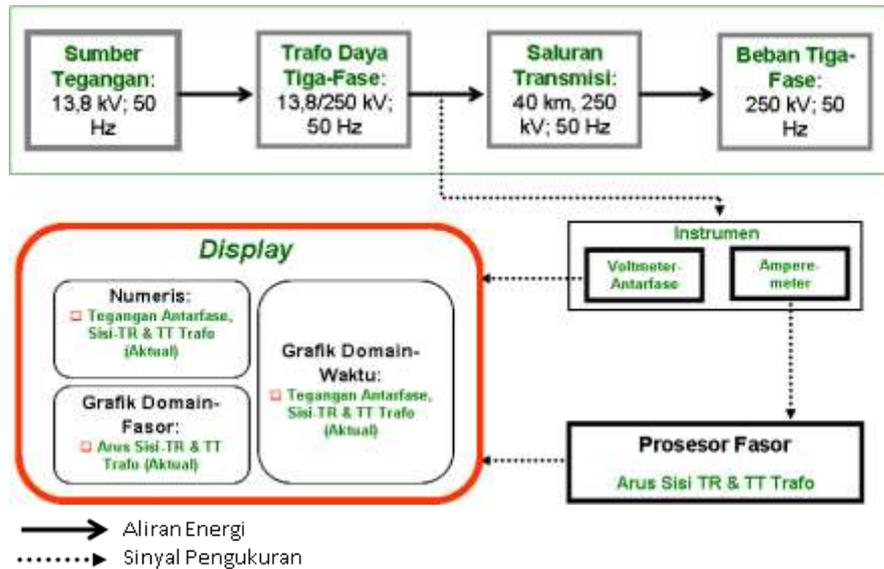
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan perangkat-lunak PSCAD. Model (simulator) yang telah dibangun, kemudian disimulasikan untuk mendapatkan hasil simulasi guna mengetahui performansnya. Simulasi dilakukan untuk kedua kondisi operasi di SEE, yakni operasi normal dan abnormal atau gangguan hubung-singkat.

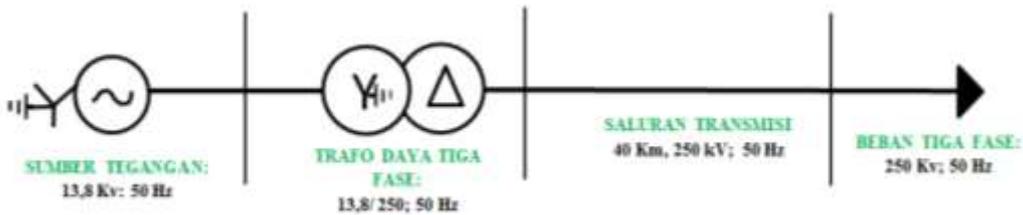
2.1. Skema/ Konfigurasi Penelitian

Gambar skema terbagi tiga yakni: (i) skema sistem monitoring operasi normal dengan metode besaran aktual (ii) skema sistem monitoring operasi normal dengan metode besaran per unit dan (iii) skema sistem monitoring operasi gangguan dengan metode besaran per unit. Setiap

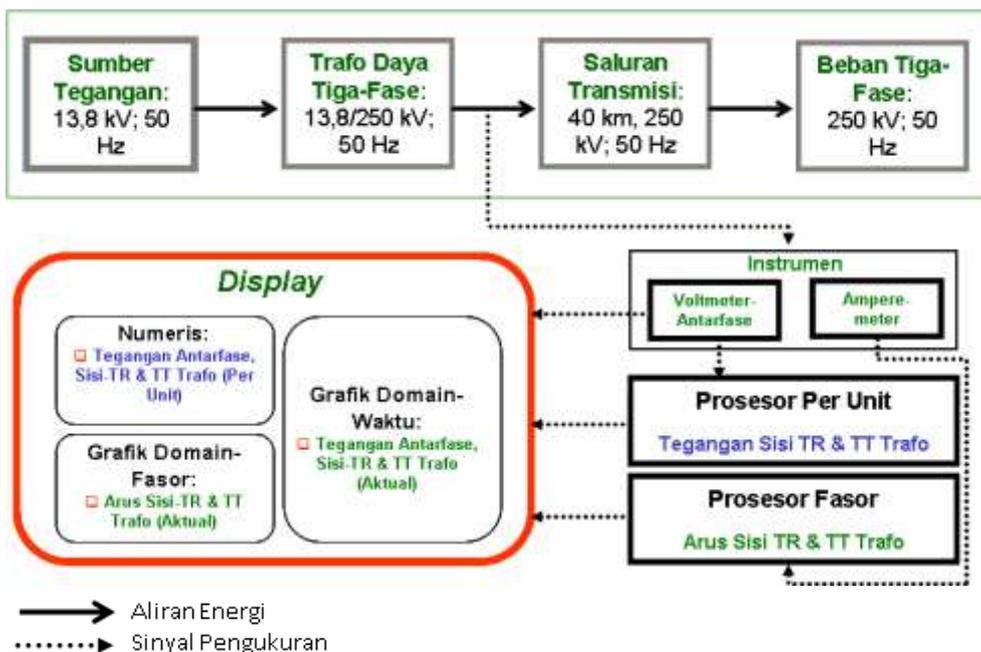
skema akan terimplementasi ke masing-masing dalam satu model/simulator, sehingga akan diperoleh Model-01, Model-02 & Model-03 serta diagram segaris.



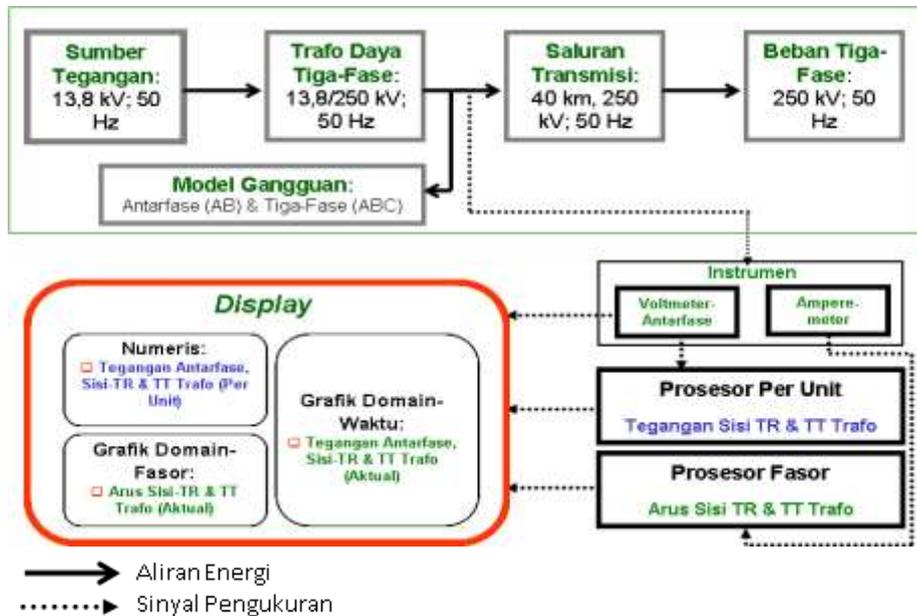
Gambar 1. Diagram skema kondisi operasi normal dengan sistem besaran aktual



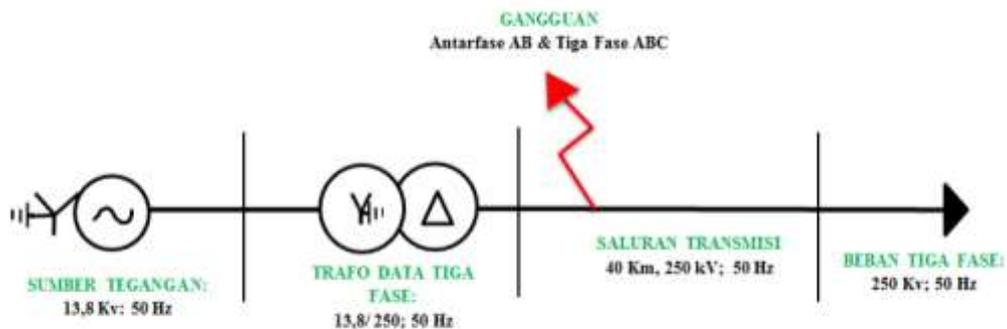
Gambar 2. Diagram segaris kondisi operasi normal dengan sistem besaran aktual



Gambar 3. Kondisi operasi normal dengan sistem besaran per unit



Gambar 4. Skema kondisi operasi gangguan (Abnormal) dengan besaran per unit



Gambar 5. Diagram segaris kondisi operasi gangguan (Abnormal) dengan besaran per unit

3. Hasil dan diskusi

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain, membangun dan menyimulasikan sistem monitoring kondisi operasi atau status operasi Sistem Energi Elektrik (SEE). Status operasi SEE, secara garis besar terdiri atas dua yakni status operasi normal dan status operasi gangguan (abnormal).

Secara garis besar, bangunan model PSCAD terdiri atas tiga yakni:

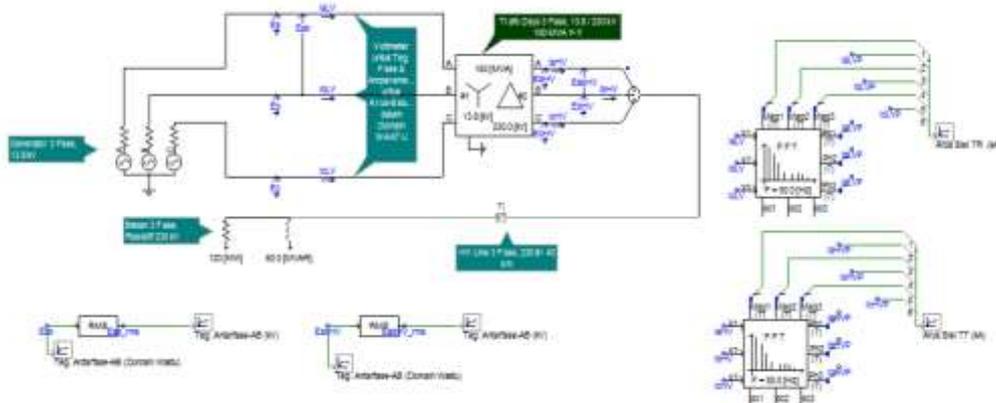
- Model-01, merupakan model monitoring SEE berbasis besaran tegangan aktual;
- Model-02, merupakan model monitoring SEE berbasis besaran tegangan per unit, dalam kondisi operasi normal;
- Model-03, yang mana merupakan model monitoring SEE berbasis besaran tegangan per unit, dalam kondisi operasi gangguan;

Simulasi dilakukan pada kondisi normal yaitu monitoring dengan besaran aktual dan besaran tegangan per unit dengan variasi pembebanan 134,16 MVA; 111,80 MVA; 76,16 MVA dan 38,08 MVA. Sementara itu, monitoring kondisi operasi gangguan terdiri atas monitoring besaran tegangan per unit pada kondisi gangguan dua fase (AB) dan monitoring kondisi

gangguan tiga fase (ABC), dengan variasi, resistansi gangguan 1, 2, 5 dan 10 Ω dengan beban 134,16 MVA.

3.1. Perbandingan Monitoring Status Operasi SEE, antara Sistem Monitoring Berbasiskan Besaran Aktual dengan Sistem Per Unit pada Kondisi Operasi Normal

3.1.1. Monitoring Besaran Tegangan Aktual



Gambar 6. Model sistem monitoring SEE dengan metode besaran aktual

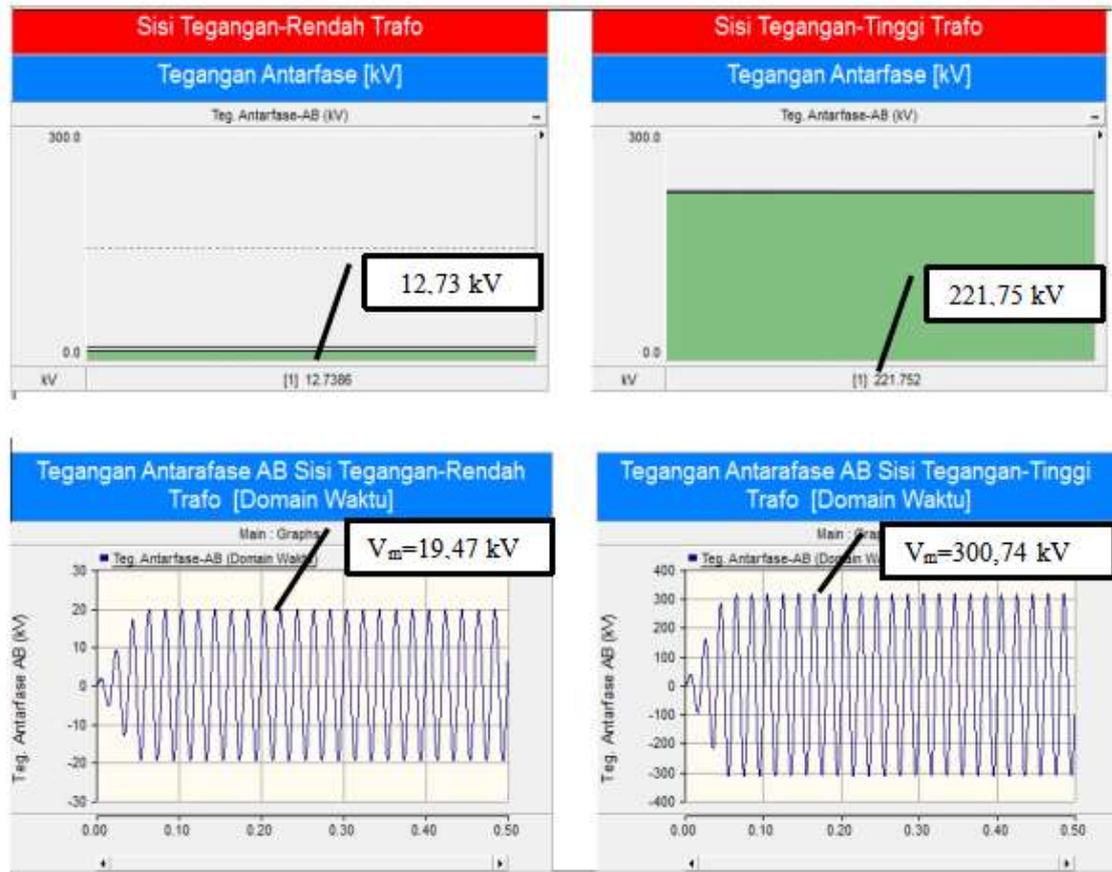
Model ini berfungsi untuk menyimulasikan sistem monitoring status operasi normal SEE dengan metode besaran aktual. Sistem tersebut terdiri atas empat komponen utama.

Model SEE: komponen ini berfungsi memodelkan SEE yang terdiri atas sumber tegangan tiga-fase, 13,8 kV: 50 Hz. Sumber ini menyuplai trafo tiga-fase penaik tegangan (*step-up*), dari tegangan 13,8 kV ke 230 kV. Selanjutnya, beban kompleks tiga-fase bertegangan 230 kV mendapatkan suplai dari saluran transmisi 230 kV sepanjang 40 km.

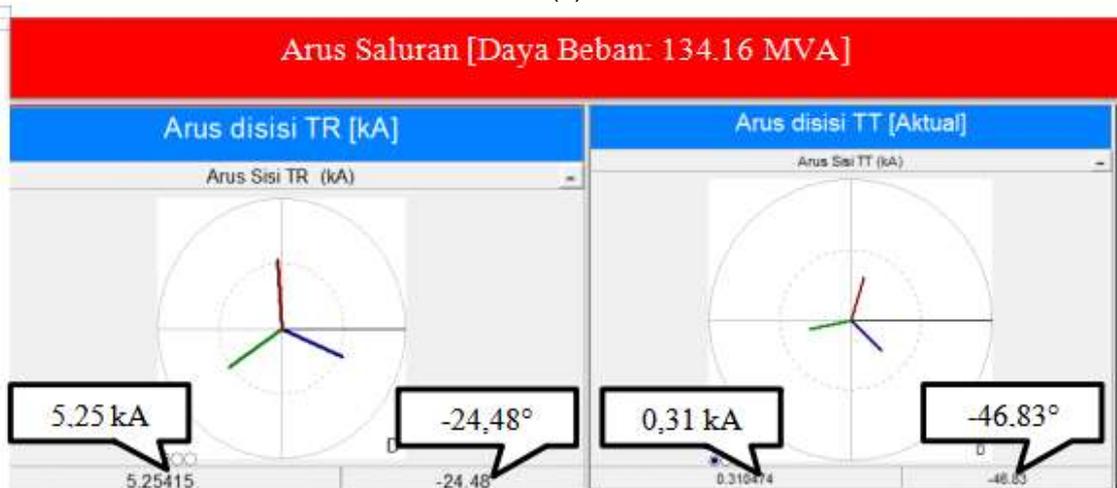
Instrumen yang meliputi instrumen arus & tegangan (antarfase). Instrumen-instrumen itu berfungsi untuk mengukur besaran yang dibutuhkan.

Prosesor fasor, berfungsi untuk mengolah besaran arus saluran di sisi TR & TT trafo, agar terukur dalam besaran fasor.

Display, berfungsi untuk menampilkan besaran terukur, sesuai instrumen yang digunakan baik dalam bentuk data numeris, domain fasor maupun domain waktu (Gambar 4.2). Display terdiri atas tiga komponen utama: 1) display numeris untuk tegangan aktual sisi TR & TT [bagian kiri-atas gambar] 2) display domain fasor untuk arus saluran aktual sisi TR & TT [bagian kiri-bawah gambar], serta 3) display domain waktu untuk tegangan aktual sisi TR & TT [bagian kanan gambar].



(a)



(b)

Gambar 7. Display sistem monitoring SEE berbeban 134,16 MVA dengan metode besaran aktual, (a) Numeris dan grafik domain waktu dan (b) Grafik domain fasor arus saluran

Display dari sistem monitoring besaran tegangan aktual untuk SEE dengan kasus beban 134,16 MVA, ditampilkan oleh Gambar 4.2. Display numeris pada gambar (a) untuk tegangan aktual menunjukkan nilai 12,73 dan 221,75 kV yang masing-masing untuk sisi TR dan TT dari trafo. Jadi, dengan kata lain, nilai tegangan sekunder naik sekitar 17 kali lipat dibandingkan dengan nilai tegangan primer, yang mana hal ini konsisten dengan rasio belitan dari trafo tersebut.

Fenomena tegangan trafo di sisi TR & TT, berupa adanya perbedaan nilai tegangan, dalam hal ini sisi TT lebih tinggi sekitar 17 kali lipat dari tegangan TR, yang hanya sekitar 12,7 kV. Fenomena tersebut sama sekali tidak memberikan informasi akan status operasi SEE, meskipun pada saat itu kondisi realnya adalah SEE sedang beroperasi atau menyuplai beban normal. Nilai-nilai tegangan tersebut, juga terkonfirmasi oleh grafik domain waktu pada Gambar (a) dari tegangan fase AB, baik di sisi TR maupun sisi TT, yang mana menunjukkan bahwa nilai maksimum tegangan masing-masing adalah sekitar 19,47 kV dan 300,74 kV.

Sementara itu, diagram domain fasor pada Gambar (b) juga menunjukkan arus pada ketiga saluran (Fase-A, -B dan -C) terlihat simetris, pada nilai sekitar 5,25 dan 0,31 kA, yang masing-masing arus saluran untuk sisi TR dan sisi TT dari trafo. Arus-arus tersebut berkenaan dengan beban yang sedang disuplai pada saat itu, yakni beban kompleks sebesar 134,16 MVA.

Hasil simulasi untuk varian beban yang lain, pada prinsipnya menunjukkan fenomena yang serupa dengan kasus yang sudah dijelaskan di atas. Hasil simulasi keseluruhan kasus, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil simulasi sistem monitoring tegangan aktual

No	Beban			Tegangan-Fase-AB Trafo		Fenomena Tegangan Trafo, Sisi TR-TT*	Status Operasi SEE**)
	Daya-Semu Tiga-Fase (MVA)	Daya-Nyata (MW)	Daya-Reaktif (Mvar)	Sisi TR (kV)	Sisi TT (kV)		
1	134,16	120	60	12,73	221,75	Berbeda	TBS
2	111,80	100	50	12,73	222,80	Berbeda	TBS
3	76,16	70	30	12,73	224,93	Berbeda	TBS
4	38,08	35	15	12,73	226,32	Berbeda	TBS

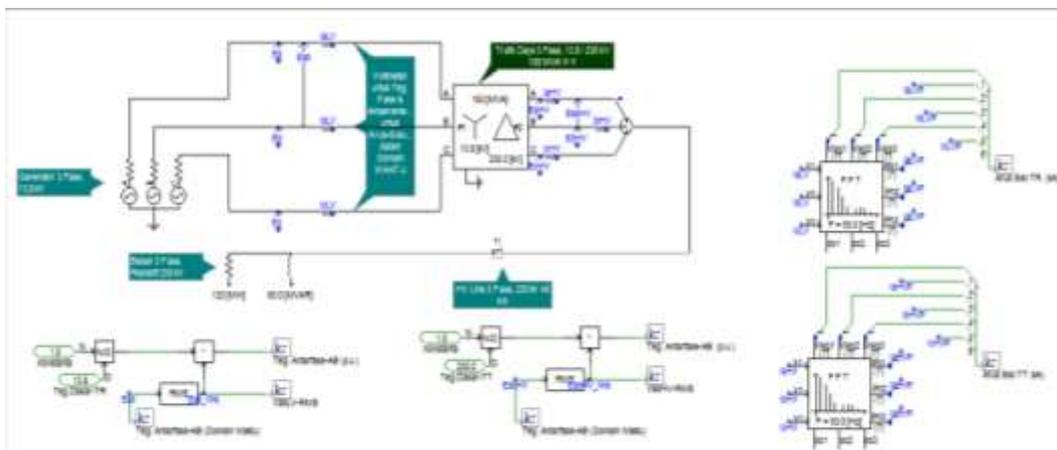
*) Berbeda = Berbeda sesuai rasio belitan

**) TBS = Tidak bisa disimpulkan

Tabel 1 menampilkan performans sistem monitoring status operasi SEE atas empat macam nilai beban, dari yang terbesar 134,16 MVA hingga terkecil 38,08 MVA. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem monitoring dengan metode ini, yang didasari fenomena tegangan di sisi primer (TR) dan sekunder (TT), tidak mampu memberikan informasi secara serta-merta atau seketika, tentang status operasi SEE (disebut status operasi: tidak bisa disimpulkan, TDS).

Oleh karena itu, pada prinsipnya tegangan primer dan sekunder, berbeda sekitar 17 kali lipat, karena ia mengikuti rasio belitan trafo. Dengan demikian, sistem monitoring status operasi dengan berbasis tegangan aktual, tidak cukup membantu untuk mengetahui normal atau tidaknya kondisi operasi SEE saat itu, sehingga disebut status operasi tidak bisa disimpulkan (TDS)

3.1.2. Monitoring Besaran Tegangan Per Unit

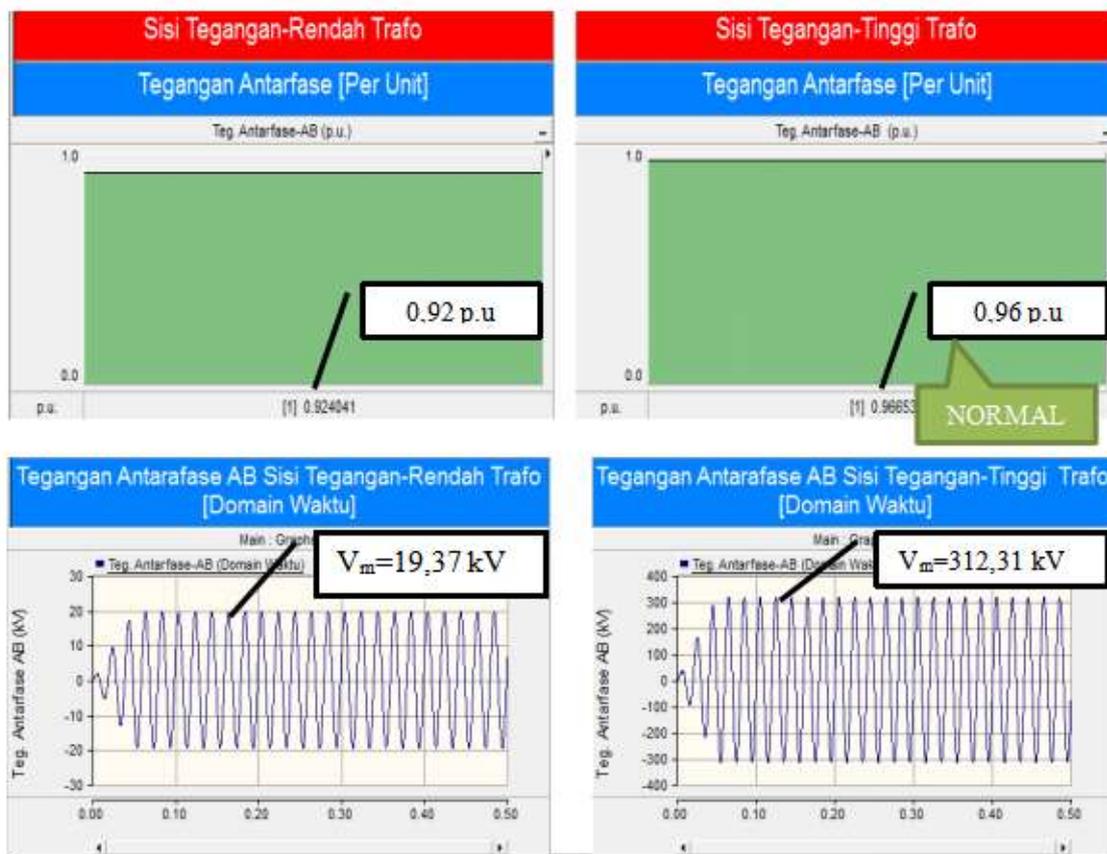


Gambar 8. Model sistem monitoring SEE dengan metode besaran tegangan per unit

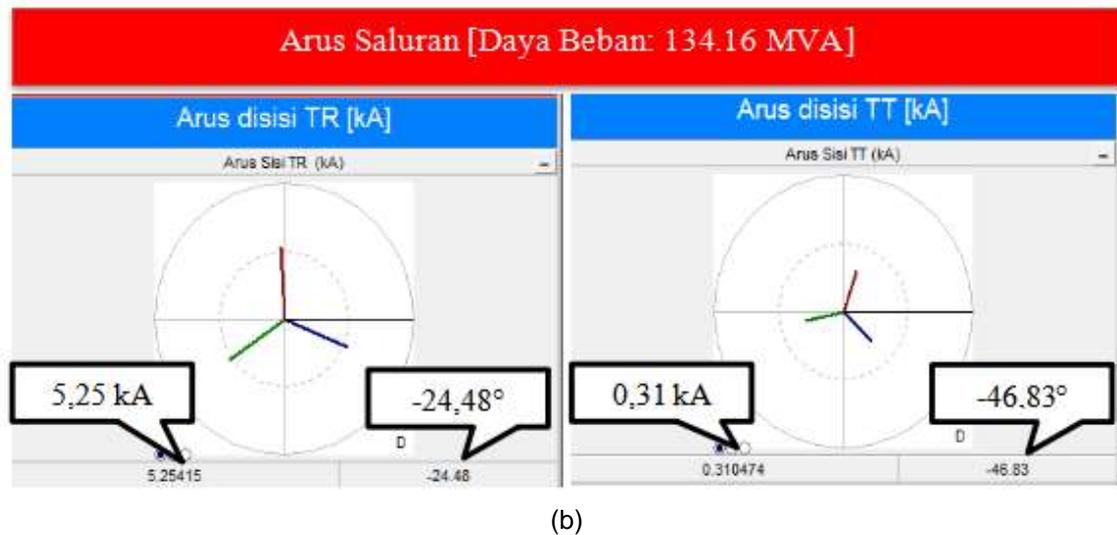
Model ini berfungsi untuk mensimulasikan sistem monitoring status operasi normal SEE dengan metode besaran per unit. Sistem tersebut identik dengan yang sebelumnya dengan tambahan komponen prosesor per unit.

- Model SEE: komponen ini berfungsi memodelkan SEE yang terdiri atas sumber tegangan tiga-fase, 13,8 kV, 50 Hz. Sumber ini menyuplai trafo tiga-fase penaik tegangan (*step-up*), dari tegangan 13,8 kV ke 230 kV. Selanjutnya, beban kompleks tiga-fase bertegangan 230 kV mendapatkan suplai dari saluran transmisi 230 kV sepanjang 40 km.
- Instrumen yang meliputi instrumen arus & tegangan (antarfase). Instrumen-instrumen itu berfungsi untuk mengukur besaran-besaran yang dibutuhkan.
- Prosesor per unit, berfungsi untuk mengolah besaran tegangan aktual trafo (sisi TR & TT) menjadi tegangan dalam per unit.
- Prosesor fasor, berfungsi untuk mengolah besaran arus aktual (sisi TR & TT trafo, agar terukur dalam besaran fasor.

Display, berfungsi untuk menampilkan besaran terukur, sesuai instrumen yang digunakan baik dalam bentuk data numeris, domain fasor, maupun domain waktu.



(a)



Gambar 9. Display sistem monitoring SEE berbeban 134,16 MVA dengan metode besaran tegangan per unit, (a) Numeris dan grafik domain waktu dan (b) Grafik domain fasor arus saluran

Gambar 9 merupakan display sistem monitoring SEE dengan beban 134,16 MVA dengan metode besaran tegangan perunit yangmana terlihat jelas bahwa tegangan yang di monitoring baik di sisi primer maupun di sisi sekunder menunjukkan keseimbangan tegangan yang sama. Pada sisi tegangan rendah tegangan yang ditunjukkan adalah 0,92 p.u sedangkan di sisi tegangan tinggi 0,96 p.u sesuai yang terlihat pada display grafik tegangan antar fase pada Gambar (a). Pada Gambar (b) juga menunjukkan diagram fasor terlihat simetris, tetapi dalam besaran normal.

Untuk beban, tegangan fase, fenomena tegangan dan status operasi sistem dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 2. Hasil simulasi sistem monitoring tegangan per unit

No	Beban			Tegangan-Fase-AB Trafo		Fenomena Tegangan Primer-Sekunder*)	Status Operasi SEE**)
	Daya-Semu Tiga-Fase (MVA)	Daya-Nyata (MW)	Daya-Reaktif (Mvar)	Sisi TR (p.u.)	Sisi TT (p.u.)		
1	134,16	120	60	0,92	0,96	(± 1 p.u.)	Normal
2	111,80	100	50	0,92	0,97	(± 1 p.u.)	Normal
3	76,16	70	30	0,92	0,98	(± 1 p.u.)	Normal
4	38,08	35	15	0,92	0,98	(± 1 p.u.)	Normal

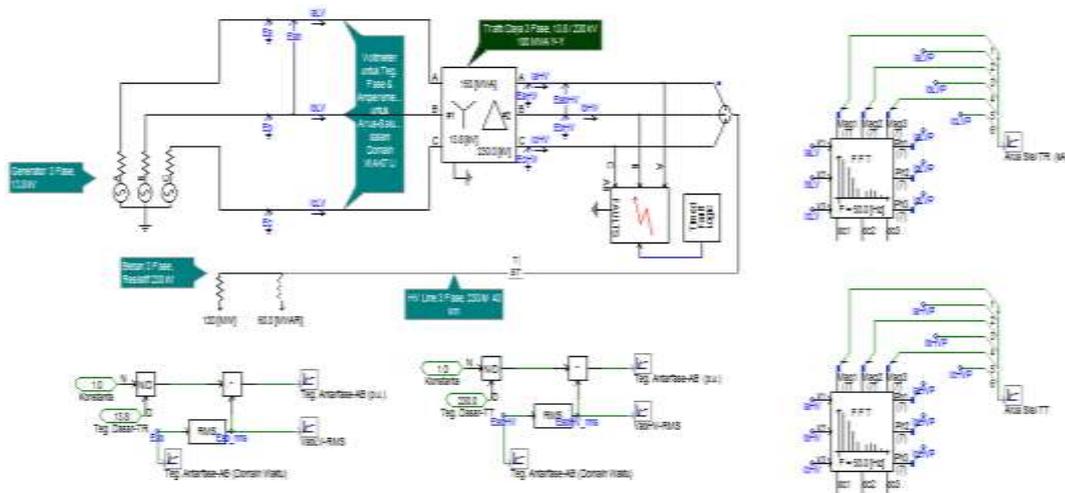
*) Sekitar 1 p.u.

***) Normal = Indikasi OPERASI NORMA

Tabel 2 menunjukkan hasil monitoring tegangan per unit dengan variasi beban baik di sisi tegangan primer dan sekunder dengan menggunakan analisis perunit maka menghasilkan atau menampilkan tegangan dengan nilai sekitar (1 p.u.) maka bisa dikatakan bahwa status operasi dalam keadaan normal, karena sistem dikatakan normal apabila nilai tegangannya adalah 1 p.u. berbeda dengan monitoring kondisi aktual dengan variasi beban yang berbeda- beda maka akan sulit untuk menganalisis kondisi operasinya dengan nilai yang cukup besar.

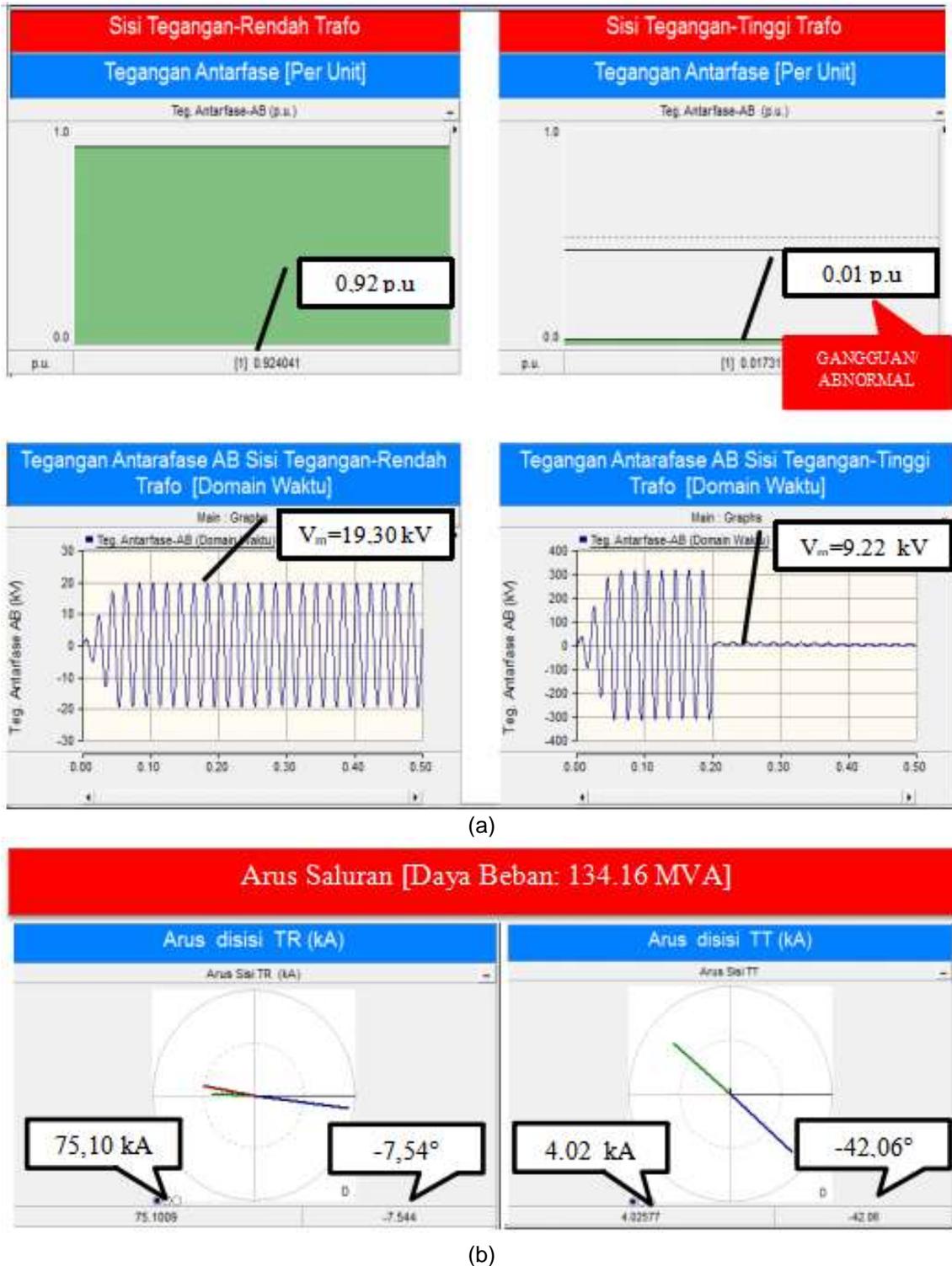
3.2. Monitoring Status Operasi SEE dengan Sistem Monitoring Berbasis Sistem Per Unit pada Kondisi Operasi Gangguan

3.2.1. Monitoring Tegangan pada Kondisi Gangguan Duafase (AB)



Gambar 10. Model sistem monitoring SEE dengan metode besaran tegangan per unit pada kondisi gangguan duafase (AB)

Model sistem monitoring SEE dengan metode besaran tegangan per unit pada kondisi gangguan dua fase (ab) berfungsi untuk menyimulasikan sistem monitoring status operasi gangguan (abnormal) SEE dengan metode besaran per unit. Sistem tersebut identik dengan yang sebelumnya dengan tambahan model gangguan pada SEE.



Gambar 11. Display sistem monitoring SEE dengan metode besaran tegangan per unit pada kondisi gangguan dua fase (a) (b)

Gambar 11 merupakan display sistem monitoring SEE dengan metode besaran tegangan per unit pada kondisi gangguan dua fase (AB) dengan variasi resistansi 1, Pada resistansi 1 trafo disisi tegangan rendah sekitar 1 p.u sedangkan disisi tegangan tinggi trafo terjadi penurunan tegangan yang sangat besar sehingga menjadi 0.01 p.u sesuai yang terlihat pada Gambar (a) grafik tegangan antarfase. Arus yang mengalami perubahan besar pada fase-fase yang

mengalami gangguan yaitu pada fase a dan b. Pada grafik domain waktu menunjukkan bahwa terjadi gangguan didetik 0,2 pada saat itu tegangan langsung menurun hal ini lah yang menunjukkan terjadi gangguan. Untuk beban, tegangan fase, fenomena tegangan dan status operasi sistem dapat dilihat pada tabe berikut.

Tabel 3. Hasil simulasi sistem monitoring tegangan per unit pada saat gangguan duafase AB dengan beban maksimum (134,16 MVA)

No	Gangguan Fase-AB dengan Rf Bervariasi (Ω)	Tegangan-Fase-AB Trafo		Fenomena Tegangan Sisi TR-TT*)	Status Operasi SEE**)
		Sisi TR (p.u.)	Sisi TT (p.u.) (Tegangan pada titik gangguan)		
1	1	0,92	0,01	Berbeda (Tegangan Sisi TR, tetap sekitar 1 p.u, sementara tegangan sisi TT, jatuh sekitar 98%)	Gangguan (Abnormal)
2	2	0,92	0,03	Berbeda (Tegangan Sisi TR, tetap sekitar 1 p.u, sementara tegangan sisi TT, jatuh sekitar 98%)	Gangguan (Abnormal)
3	5	0,92	0,08	Berbeda (Tegangan Sisi TR, tetap sekitar 1 p.u, sementara tegangan sisi TT, jatuh sekitar 98%)	Gangguan (Abnormal)
4	10	0,92	0,01	Berbeda (Tegangan Sisi TR, tetap sekitar 1 p.u, sementara tegangan sisi TT, jatuh sekitar 98%)	Gangguan (Abnormal)

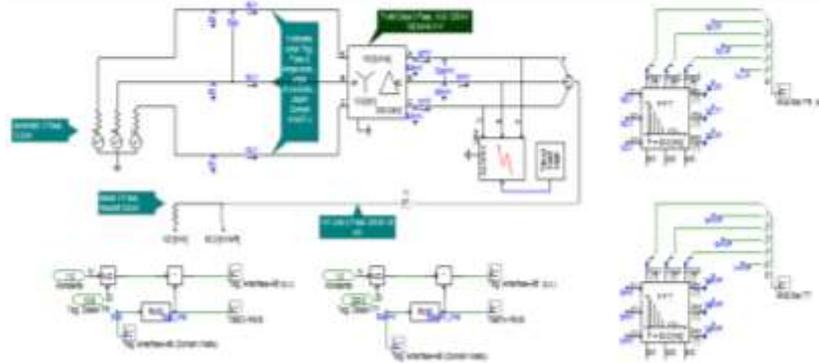
*) Sama = Relatif sama sekitar 1 p.u.

***) Gangguan = Indikasi OPERASI GANGGUAN Hubung-Singkat

Tabel tersebut di atas dilihat bahwa di sisi sekunder terjadi gangguan dalam hal ini gangguan hubung singkat dikarenakan adanya teori tegangan yang terjadi bahwa , pada resistansi 1 tegangan fase trafo di sisi sekunder (kondisi normal) dari 0,96 p.u pada Tabel 4.2 menjadi 0,01 p.u karena terjadi jatuh tegangan yang sangat besar sekitar 98% maka menurun menjadi 0,01 p.u maka disimpulkan terjadi gangguan hubungsingkat pada sistem. Begitupun dengan variasi resistansi yang lainnya pada saat terjadi gangguan seluruh varian terjadi jatuh tegangan yang cukup besar yang mana 98% mengonfirmasi status sistem terjadi gangguan/ abnormal.

3.2.2. Monitoring Kondisi Gangguan Tiga-Fase (ABC)

Berikut adalah Hasil coverage RSRP dari drive test operator Tri yang diperoleh.



Gambar 12. Model sistem monitoring SEE dengan metode besaran tegangan per unit pada kondisi gangguan tiga fase (ABC)

Gambar 12 merupakan display sistem monitoring SEE dengan metode besaran tegangan per unit pada kondisi gangguan dua fase (AB) dengan variasi resistansi 1, 2, 5 dan 10. Pada umumnya identik dengan gangguan dua fase, arus yang mengalami perubahan besar pada fase yang terlibat gangguan yaitu fase a, b dan c maka terlihat pada Gambar (b) grafik domain fasor arus gangguan tetap simetris karena pada dasarnya pada gangguan tiga fase merupakan gangguan simetris. Untuk beban, tegangan fase, fenomena tegangan dan status operasi sistem dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil simulasi sistem monitoring tegangan per unit pada saat gangguan dua fase AB dengan beban maksimum (134,16 MVA)

No	Gangguan Fase-AB dengan Rf Bervariasi (Ω)	Tegangan-Fase-AB Trafo		Fenomena Tegangan Sisi TR-TT*)	Status Operasi SEE**)
		Sisi TR (p.u.)	Sisi TT (p.u.) (Tegangan pada titik gangguan)		
1	1	0,92	0,01	Berbeda (Tegangan Sisi TR, tetap sekitar 1 p.u, sementara tegangan sisi TT, jatuh sekitar 98%)	Gangguan (Three phase fault)
2	2	0,92	0,02	Berbeda (Tegangan Sisi TR, tetap sekitar 1 p.u, sementara tegangan sisi TT, jatuh sekitar 98%)	Gangguan (Three phase fault)
3	5	0,92	0,05	Berbeda (Tegangan Sisi TR, tetap sekitar 1 p.u, sementara tegangan sisi TT, jatuh sekitar 98%)	Gangguan (Three phase fault)
4	10	0,92	0,01	Berbeda (Tegangan Sisi TR, tetap sekitar 1 p.u, sementara tegangan sisi TT, jatuh sekitar 98%)	Gangguan (Three phase fault)

Tabel 4 menunjukkan hasil simulasi sistem monitoring tegangan per unit pada saat gangguan tiga fase abc dengan beban maksimum (134,16 MVA) yang mana teori sederhananya adalah apabila nilai resistansi gangguan membesar maka arus gangguan mengecil sehingga jatuh tegangan di sistem berkurang, sehingga tegangan sumbernya cenderung membesar pada nilai per unitnya. Sehingga dapat dilihat dari tabel bahwa disisi sekunder terjadi gangguan dalam hal ini gangguan hubung singkat dikarenakan adanya teori tegangan yang terjadi bahwa, pada

resistansi 1 tegangan fase trafo di sisi sekunder (kondisi normal) dari 0,91 p.u pada Tabel 4.2 menjadi 0,01 p.u, karena terjadi jatuh tegangan sekitar 98% maka menurun menjadi 0,01 p.u maka disimpulkan terjadi gangguan hubung-singkat pada sistem.

4. Kesimpulan

Model monitoring Sistem Energi Elektrik (SEE) berbasis per unit ini dalam PSCAD sudah berhasil didesain dan dibangun, dengan komponen utama sumber tegangan tiga-fase 13,8 kV; 50 Hz, trafo daya tiga-fase 13,8/230 kV; 50 Hz, saluran transmisi 230 kV sepanjang 40 km; 50 Hz, Beban tiga fase 230 kV ; 50 Hz dan model gangguan antarfase (AB) dan tiga fase (ABC). Dari komponen-komponen tersebut dibuatlah 4 model diantaranya model monitoring besaran aktual pada kondisi operasi normal, monitoring besaran aktual dengan sistem per unit pada kondisi operasi normal, model monitoring berbasis sistem per unit pada kondisi operasi gangguan dua fase (AB) dan model monitoring berbasis sistem perunit pada kondisi operasi gangguan tiga fase (ABC). Performansi dari model ini berhasil membuktikan bahwa pada saat kondisi operasi sistem dalam keadaan normal bisa terbaca dengan baik dengan melihat nilai per unit ≈ 1 p.u. Sementara itu, untuk kondisi operasi gangguan nilai per unit di titik terjadinya gangguan drop ke nilai yang cukup besar, lebih dari 90 persen. Hal itu menjadi indikator jelas bahwa terjadi gangguan pada sistem (Abnormal). Adapun saran untuk penelitian ini adalah terbatasnya versi aplikasi PSCAD yang digunakan dalam penelitian yang mana dalam permodelan monitoring Sistem Energi Elektrik (SEE) diharapkan dapat dirangkai dengan sedemikian rupa tetapi karena keterbatasan komponen yang terpakai maka diharuskan menggunakan PSCAD dengan versi yang lebih tinggi guna menghasilkan sebuah permodelan yang lebih kompleks.

Referensi

- [1] Y. Liu et al., "A distribution level wide area monitoring system for the electric power grid–FNET/GridEye," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 2329–2338, 2017.
- [2] S. S. Wibowo, *Analisa Sistem Tenaga: Analisa Sistem Tenaga*, vol. 1. UPT Percetakan dan Penerbitan Polinema, 2018.
- [3] Syafii, *Komputasi Sistem Tenaga dengan Pemograman Visual C++*. Andalas University Press, 2015.
- [4] C. Farley, J. Howat, J. Bosco, N. Thakar, J. Wise, and J. Su, "Advancing Equity in Utility Regulation," Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States), 2021.
- [5] Z. Stojkovic, *Computer-aided design in power engineering: Application of software tools*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [6] X. Xu, "Optimal control method of power system based on computer aided technology," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 19, no. S4, pp. 102–112, 2021.