

Modul 1

Pengenalan Komponen dan Perangkat Lunak SIMPOWERSYSTEMS™ dan SIMULINK® pada MATLAB

Muhammad Arbi Minanda (13216019)

Asisten : Angellina Trisno Putri (18015001)

Tanggal Percobaan : 31/1/2018

EL3217 Praktikum Sistem Tenaga Elektrik

Laboratorium Sinyal dan Sistem – Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung



Abstrak—Pada praktikum modul ini, praktikan akan mengenali komponen-komponen serta perangkat lunak simulator yang digunakan dalam sistem tenaga elektrik. Praktikan akan mengerjakan beberapa tugas praktikum, diantaranya Pembuatan Rangkaian menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB, serta Simulasi Rangkaian menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB.

Kata Kunci—Simulink, Generator, Transformer, Transmisi, Beban.

I. PENDAHULUAN

Pada praktikum modul ini, terdapat beberapa tujuan praktikum yang diharapkan dapat praktikan capai setelah menyelesaikan praktikum, tujuan praktikum tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

- Mengenal komponen-komponen yang digunakan pada Sistem Tenaga Elektrik
- Membuat rangkaian Sistem Tenaga Elektrik menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB
- Mensimulasikan rangkaian Sistem Tenaga Elektrik menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB

Agar dapat melaksanakan praktikum modul ini, praktikan akan membutuhkan beberapa perangkat yang menunjang pelaksanaan praktikum, beberapa perangkat tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Komputer Desktop / Laptop dengan sistem operasi Microsoft® Windows™ 7/8/8.1
2. SimPowerSystem™ dan Simulink® pada MATLAB R2018a

Adapun langkah-langkah percobaan pada praktikum ini yang tertera pada modul adalah sebagai berikut.

Percobaan 1 - Pembuatan Rangkaian menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB

Spesifikasi Rangkaian:

Generator : 30 MVA, 13.8 kV, $X_1 = 0.1$ pu

Trafo 1 : 20 MVA, 13.8 – 132 kV, Delta – Wye, $R_t = 0.01$ pu, $X_t = 0.1$ pu

Trafo 2 : 20 MVA, 132 – 13.8 kV, Wye – Delta, $R_t = 0.01$ pu, $X_t = 0.1$ pu

Line : 20 km, $R_l = 0.2$ Ohm/km, $X_l = 2$ Ohm/km

Beban : 20 MVA, 0.8 lag, 13.8 kV, $X_s = 0.08$ pu



Fig. 1 Diagram alur percobaan 1

Percobaan 2 – Simulasi Rangkaian menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB

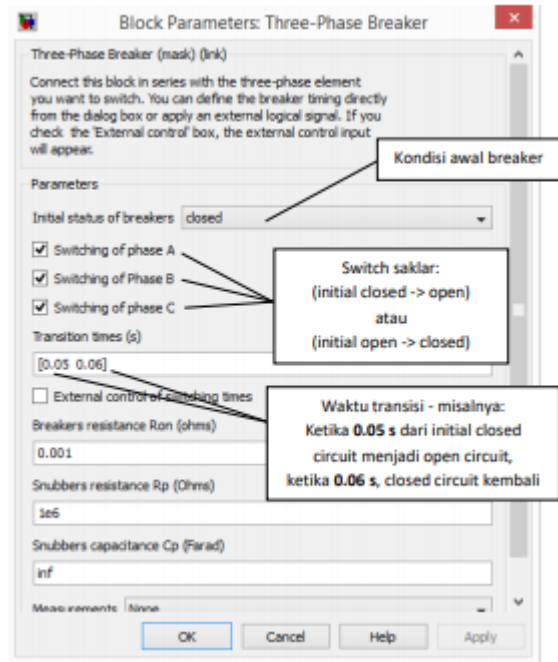


Fig. 2 Langkah Pengaturan Blok Parameter

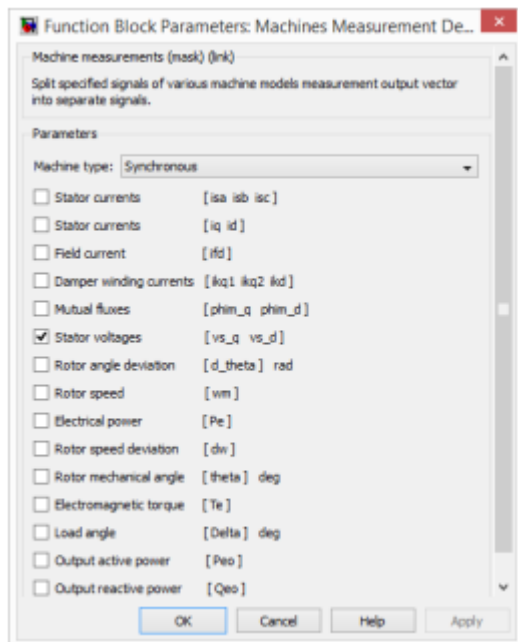


Fig. 3 Konfigurasi Machines Measurement Demux

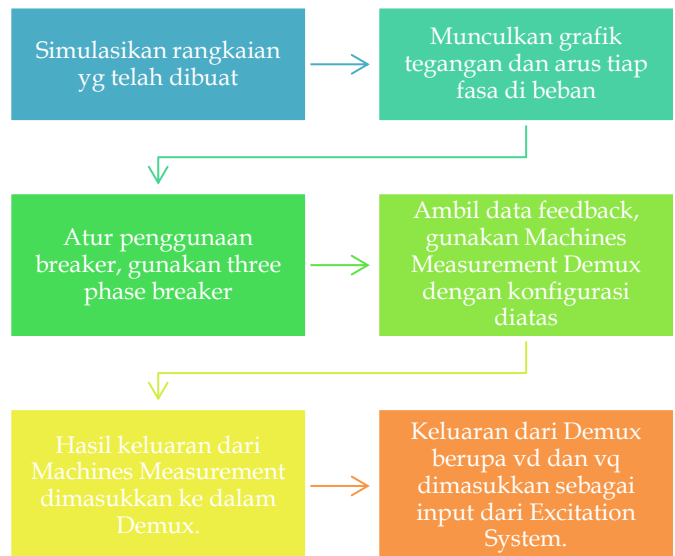


Fig. 4 Diagram alur percobaan 1

II. LANDASAN TEORETIS

MATLAB merupakan sebuah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah teknik. MATLAB sering digunakan untuk keperluan pembelajaran akademik dan perhitungan teknik. MATLAB memiliki sebuah pemrograman grafis yang disebut dengan Simulink. Simulink digunakan untuk mensimulasikan sistem dinamik.

Simulink menggunakan diagram fungsional yang terdiri dari beberapa blok yang ekuivalen dengan fungsinya. Pada Sistem Tenaga Elektrik, blok yang ekuivalen tersebut tergabung dalam suatu set blok SimPowerSystems™. Set blok SimPowerSystems™ terdiri dari beberapa model yang cukup kompleks dengan perangkat dalam bidang aplikasi produksi, transmisi, transformasi dan penggunaan dari tenaga listrik, peralatan listrik dan elektronika daya.

A. Model Blok SimPowerSystems™

1. Sumber Elektrik

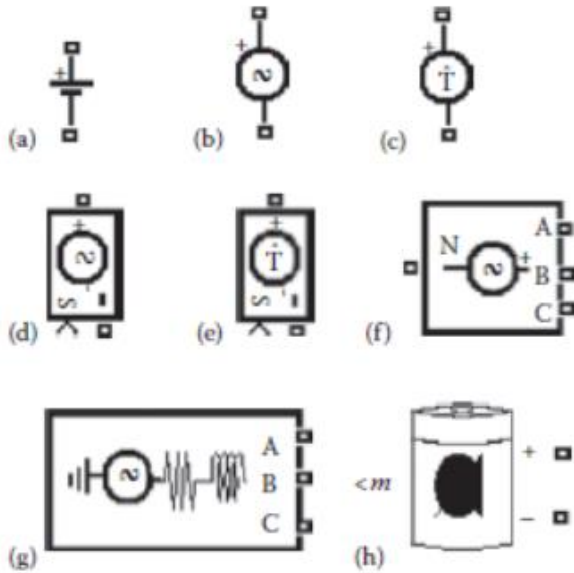


Fig. 5 Model Sumber Elektrik: (a) Sumber Tegangan DC; (b) Sumber Tegangan AC; (c) Sumber Arus AC; (d) Sumber Tegangan Terkendali; (e) Sumber Arus Terkendali; (f) Sumber Tegangan 3-fasa Terprogram; (g) Sumber 3-fasa; (h) Baterai

2. Impedansi dan Beban

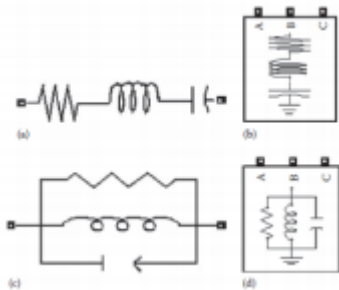


Fig. 6 Model Beban: (a) Beban RLC seri; (b) Beban RLC seri 3-fasa; (c) Beban RLC parallel; (d) Beban RLC parallel 3-fasa

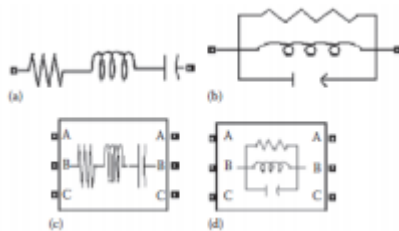


Fig. 7 Model Branch: (a) Branch RLC seri; (b) Branch RLC parallel; (c) Branch RLC seri 3-fasa; (d) Branch RLC parallel 3-fasa

3. Transformer

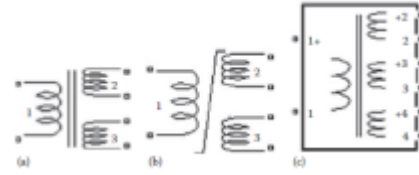


Fig. 8 Model Transformer 1-fasa: (a) Transformer linier; (b) Transformer tersaturasi; (c) Transformer multiwinding

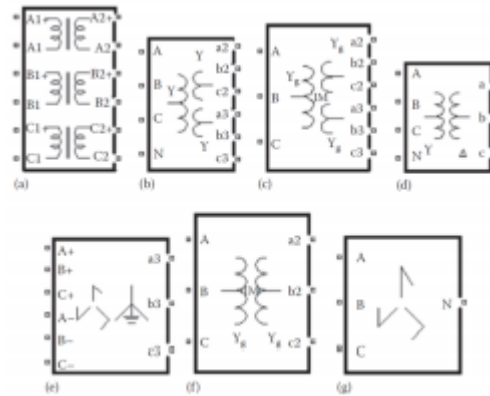


Fig. 9 Model Transformer 3-fasa: (a) Transformer 3-fasa 12 terminal; (b) Transformer 3-fasa (3 winding); (c) Transformer induktansi 3-fasa tipe matriks (3 winding); (d) Transformer 3-fasa (2 winding); (e) Transformer Zigzag Phase-Shifting; (f) Transformer induktansi 3-fasa tipe matriks (2 winding); (g) Transformer grounding

4. Transmisi

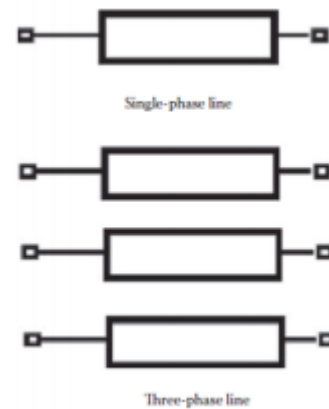


Fig. 10 Model Distributed Parameter Line

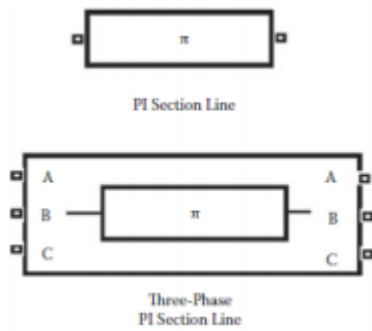


Fig. 11 Model PI Section Line

Tabel 1 Typical Parameters of Transmission Lines

Voltage (kV)	220-230	330-345	500	750-765	1100-1150
R (Ω/km) 10^{-3}	5-6	2.8-3.7	1.8-2.8	1.17-1.2	0.005
L (mH/km)	1.27-1.29	0.97-1	0.86-0.93	0.87	0.77
C (F/km) 10^{-9}	8.91-8.94	10.6-12	12.6-13.8	13-13.4	14.6
Z_0 (Ω)	377-387	285-300	250-278	255-260	230-250
NP (MW)	125-140	360-420	900-1000	2160-2280	5260-5300



Fig. 13 Tampilan Power GUI

5. Elemen Lain

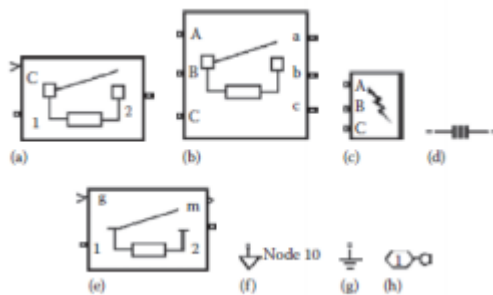


Fig. 12 (a) Breaker; (b) Breaker 3-fasa; (c) Fault 3-fasa; (d) Surge Arrester; (e) Ideal Switch; (f) Neutral; (g) Ground; (h) Connection Port

2.2. Power GUI

PowerGUI merupakan sebuah antarmuka grafis bagi para pengguna. PowerGUI dapat digunakan untuk model tuning dan mencatat keluaran dan state serta memplot beberapa grafik yang dibutuhkan.

Untuk MATLAB dengan versi yang lebih baru, terdapat sedikit perbedaan pada PowerGUI di mana menu Load Flow dan Machine Initialization terpisah:

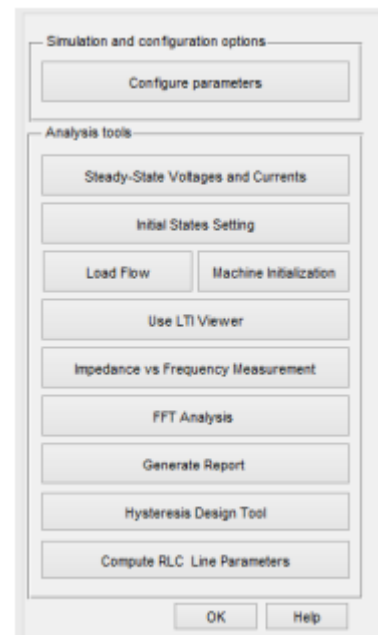


Fig. 14 Menu Load Flow dan Machine Initialization

III. HASIL DAN ANALISIS

Pada praktikum ini, praktikan mengenali beberapa komponen dalam sistem tenaga elektrik beserta proses simulasi system tersebut dengan memanfaatkan simulink® pada MATLAB mulai dari penyesetan setiap komponen hingga simulasi dan pengukuran serta plot grafik sinyal pada beban. Rangkaian pada praktikum ini terlampir pada bagian lampiran pada percobaan ini.

Seluruh frekuensi pada setiap komponen di-set menjadi 50 Hz. Beberapa penyesetan komponen pada percobaan ini adalah sebagai berikut.

1. Generator

Generator berfungsi sebagai pembangkit tenaga yang akan disalurkan ke beban. Pada rangkaian praktikum ini, generator pada Simulink yang digunakan adalah Synchronous Machine Pu Standard. Spesifikasi dari penyesetan generator yang tertera pada modul adalah 30 MVA, 13.8 kV, $X1 = 0.1$ pu, dengan 30 MVA merupakan nominal power generator, 13.8 kV merupakan line to line voltage generator, dan $X1$ merupakan reaktansi generator, ketiganya di-set pada menu parameter generator. Dan pada menu Load Flow, ubah tipe generator yang digunakan menjadi generator PQ (Perbedaan dari masing-masing tipe generator terlampir pada lampiran laporan ini).

2. Circuit Breaker

Circuit Breaker berfungsi sebagai proteksi dalam sistem tenaga elektrik yang dapat memutus aliran listrik bila terjadi hubung singkat atau beban lebih. Bila circuit breaker pada sistem tenaga elektrik terputus baik karena hubung singkat atau beban lebih yang terjadi pada sistem, transmisi dari pembangkit akan terhenti sehingga arus dan tegangan pada beban akan bernilai nol. Pada rangkaian praktikum ini, circuit breaker pada Simulink yang digunakan adalah Three Phase Breaker. Spesifikasi dari penyesetan breaker ini seperti pada fig. 2 pada langkah-langkah praktikum dibagian pendahuluan laporan, namun untuk mode switch saklar untuk setiap fasa di non aktifkan. Setelah breaker di-set, breaker akan dalam keadaan tertutup atau terhubung. Pada rangkaian praktikum ini dibutuhkan 4 buah breaker dengan penyesetan yang sama.

3. Transformer

Transformer berfungsi sebagai pengubah taraf tegangan ke taraf yang lain. Pada praktikum ini digunakan dua buah transformer, transformer pertama untuk menaikkan taraf tegangan dan yang kedua untuk menurunkan taraf tegangan. Transformer dari Simulink yang digunakan adalah Three Phase Transformer (Two Windings). Spesifikasi dari masing-masing trafo adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Transformer

Trafo	Nominal Power	Perubahan Taraf Tegangan	Konfigurasi Lilitan	Resistansi Lilitan	Reaktansi Lilitan
1	20 MVA	(13.8 -132) kV	Delta – Wye	0.01 pu	0.1 pu
2		(132-13.8) kV	Wye – Delta		

Spesifikasi reaktansi pada tabel diatas untuk lilitan dengan konfigurasi wye, untuk konfigurasi delta nilai reaktansi di-set nol. Sesuai rangkaian ekivalen transformer, reaktansi hanya mengandung komponen induktif sehingga nilai reaktansi pada spesifikasi diubah ke dalam nilai induktif dengan persamaan:

$$L = X/(2.\pi.f)$$

nilai inilah yang dimasukkan ke dalam setting parameter transformer pada Simulink.

4. Line

Line berfungsi sebagai saluran transmisi listrik tegangan tinggi dari pembangkit sebelum listrik didistribusikan. Pada rangkaian praktikum ini, line yang digunakan pada Simulink adalah Three Phase PI Section Line. Spesifikasi dari penyesetan line yang tertera pada modul diantaranya Panjang line 20 km, Resistansi $R1$ line 0.2 Ohm/km, dan Reaktansi $R1$ Line 0.2 Ohm/km. Sama seperti transformer, nilai reaktansi diubah terlebih dahulu kedalam nilai induktif dengan menggunakan persamaan yang sama.

5. V-I Measurement

Blok ini digunakan untuk mengukur tegangan dan arus sesaat dari setiap fasa. Blok ini akan mengeluarkan tegangan dan arus phase-to-ground atau phase-to-phase. Pada praktikum kali ini blok ini di-set phase to ground, dengan di-set seperti ini blok ini akan mengonversi tegangan yang terukur berdasarkan nilai puncak tegangan fasa ke ground.

6. Beban

Beban pada Simulink yang digunakan adalah Three Phase Parallel RLC Load. Spesifikasi dari beban yang digunakan adalah sebagai berikut, nominal power (S) 20 MVA, power factor (pf) 0.8 lag, phase to phase voltage 13.8 kV, dan reaktansi 0.08 pu. Parameter daya yang dibutuhkan pada rangkaian ini adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan dua parameter tersebut dan karena power factor pada beban ini bersifat “lag”, maka daya reaktif hanya mengandung komponen induktif dan daya komponen kapasitif di-set nol. Perhitungan dilakukan dengan persamaan berikut.

$$P = S \cdot \text{pf}$$

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

Pada setting measurements, di-set branch voltages and currents untuk mengukur tegangan dan arus pada tiap fasa.

7. PowerGUI

PowerGUI berfungsi untuk mengatur simulasi yang akan dilakukan. Pada PowerGUI di-set tipe simulasi yang akan digunakan pada menu configure parameters, tipe simulasi di-set phasors, karena daya yang dihasilkan dalam bentuk tiga fasa.

8. Multimeter

Blok ini digunakan untuk mengeset parameter apa saja yang akan diukur. Pada setting ini akan ditampilkan parameter apa saja yang dapat diukur dan user dapat memilihnya. Pada praktikum ini akan diukur tegangan dan arus pada tiap fasa.

9. Sistem Eksitasi Sinyal

Blok ini digunakan untuk mengirim sinyal eksitasi berupa sinyal tegangan DC yang dibutuhkan generator agar dapat berfungsi (Penjelasan mengenai generator sinkron beserta fungsi dari sinyal eksitasinya terlampir pada lampiran laporan ini). Blok ini juga memerlukan 2 sinyal lain (Vq dan Vd) untuk bekerja yang didapat dari blok Bus Selector, serta memerlukan konstanta bernilai 1. Setting eksitasi sinyal terhadap generator adalah seperti pada gambar berikut.

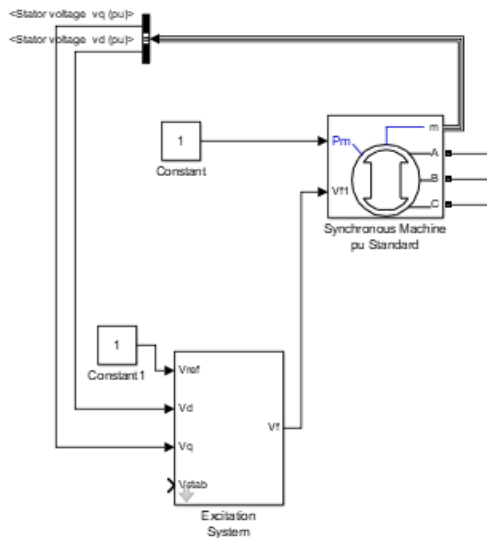


Fig. 15 Setting Eksitasi Sinyal terhadap Generator

10. Scope

Blok ini digunakan untuk menampilkan plot dari parameter yang diukur terhadap waktu. Pada praktikum ini, blok multimeter dihubungkan ke blok ini untuk dapat menampilkan plot dari tegangan dan arus setiap fasa.

Setelah seluruh komponen di-set dan dihubungkan satu sama lain, simulasi sudah dapat dilakukan dengan memilih icon run pada toolbar Simulink. Setelah simulasi selesai dijalankan, akan ditampilkan plot dari tegangan dan arus setiap fasa. Hasil plot tegangan dan arus setiap fasa yang praktikan dapatkan adalah sebagai berikut.

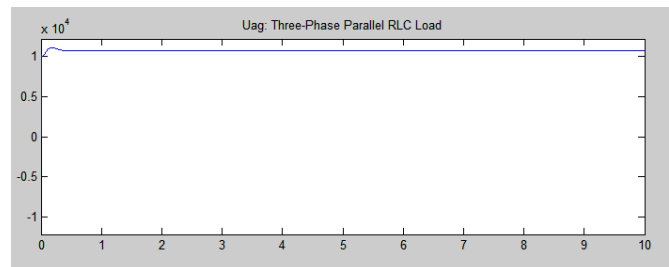


Fig. 16 Tegangan Fasa A pada Beban

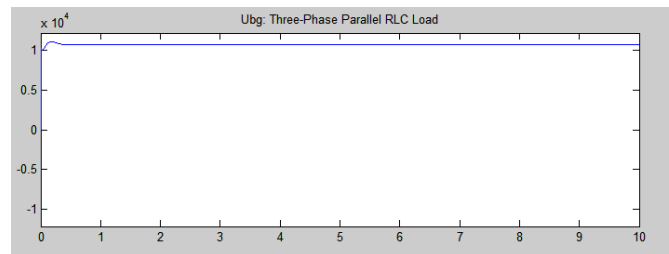


Fig. 17 Tegangan Fasa B pada Beban

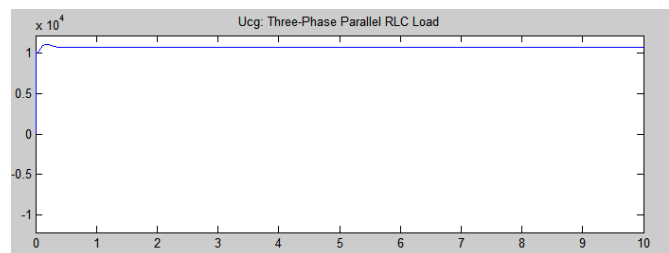


Fig. 18 Tegangan Fasa C pada Beban

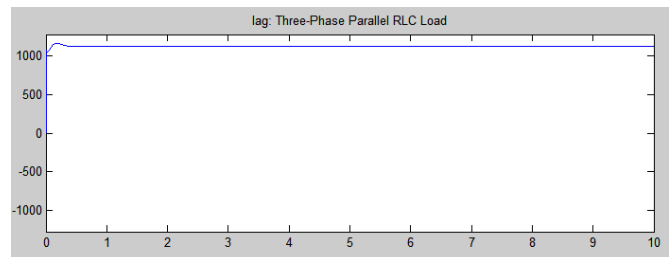


Fig. 19 Arus Fasa A pada Beban

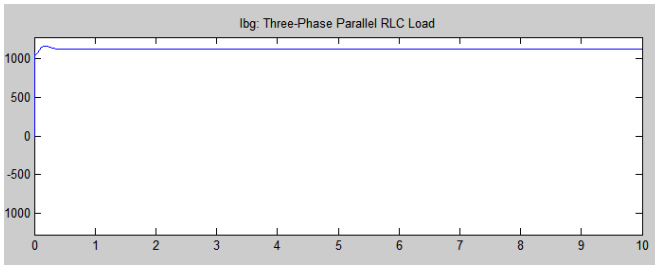


Fig. 20 Arus Fasa B pada Beban

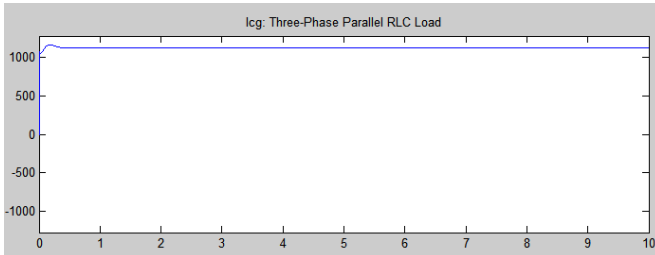


Fig. 21 Tegangan Fasa C pada Beban

Setelah itu, ditampilkan tabel Data Load Flow pada beberapa blok komponen rangkaian yang ditampilkan melalui menu Load Flow pada blok PowerGUI. Setelah dipilih panel “compute” akan ditampilkan tabel data load flow, berikut ditampilkan data yang diperlukan dari tabel tersebut.

Tabel 2 Data Load Flow Rangkaian

Blok	V_LF (pu)	Vang_LF (pu)	P_LF (MW)	Q_LF (Mvar)
Synchronous Machine	1	0	15.13	10.51
3-Phase Transformer 1 (Delta)	0.9999	0	0	0
3-Phase Transformer 1 (Wye)	0.9922	30.29	0	0
3-Phase Transformer 2 (Wye)	0.9637	28.42	0	0
3-Phase Transformer 2 (Delta)	0.9559	-1.26	0	0
3-Phase Parallel RLC Load	0.958	-1.25	14.62	10.96

Berikut adalah hasil perhitungan arus pada beban yang dilakukan oleh praktikan.

- Penyesuaian nilai X_s karena nilai S (nominal power) yang digunakan generator berbeda dengan yang digunakan transformer

$$X_s = 0,1(20M/30M) = 1/15 \text{ pu}$$

- Menghitung nilai impedansi base dari lilitan sekunder pada trafo 1

$$Z_{base} = (V_{base}^2/S_{base}) = 132k^2/20M = 871,2 \text{ Ohm}$$

- Menghitung nilai pu dari resistansi dan reaktansi pada line

$$R_{line,pu} = ((R_{line.panjang_line})/Z_{base}) = 0,0046 \text{ pu}$$

$$X_{line,pu} = ((X_{line.panjang_line})/Z_{base}) = 0,046 \text{ pu}$$

- Menghitung arus base dari trafo 2 dengan S base yang sama namun $V_{base} = 13.8 \text{ kV}$

$$I_{base} = (S_{base}/(1,73.V_{base})) = 837,73 \text{ A}$$

- Menghitung impedansi pada beban

$$Z_{load} = (V_{load}^2/(P+Q)) = (13,8k^2/((20.0,8)+(j20.0,6))) = 9,52\angle-36,8^\circ \text{ Ohm}$$

- Menghitung Z_{base} pada beban dan Z_{pu}

$$Z_{load,base} = (V_{load}^2/S_{base}) = (13,8k^2/20M) = 9,52 \text{ Ohm}$$

$$Z_{load,pu} = Z_{load}/Z_{load,base} = 1\angle-36,8^\circ \text{ pu}$$

- Menghitung Z_{total} rangkaian

$$\begin{aligned} Z_{total} &= Z(X_s) + R_{trafo1} + Z(X_{trafo1}) + R_{line,pu} + Z(X_{line,pu}) + R_{trafo2} \\ &\quad + Z(X_{trafo2}) + Z_{load,pu} \\ &= j/15 + 0.01 + j0.1 + 0.0046 + j0.046 + 0.01 + j0.1 + 1\angle-36,8^\circ \\ &= 0.87\angle-19.13^\circ \end{aligned}$$

- Maka, dapat dihitung nilai Arus yang mengalir pada beban

$$I_{load,pu} = 1 \text{ pu}/Z_{total} = 1.14\angle19.13^\circ \text{ pu}$$

dalam satuan ampere

$$I_{load} = I_{base}.I_{load,pu} = 955.01\angle19.13 \text{ A}$$

Jika hasil perhitungan dibandingkan dengan hasil simulasi terlihat jika hasil yang didapat sudah sangat mendekati nilai dari hasil plot simulasi yang bernilai sekitar 1000 A.

IV. SIMPULAN

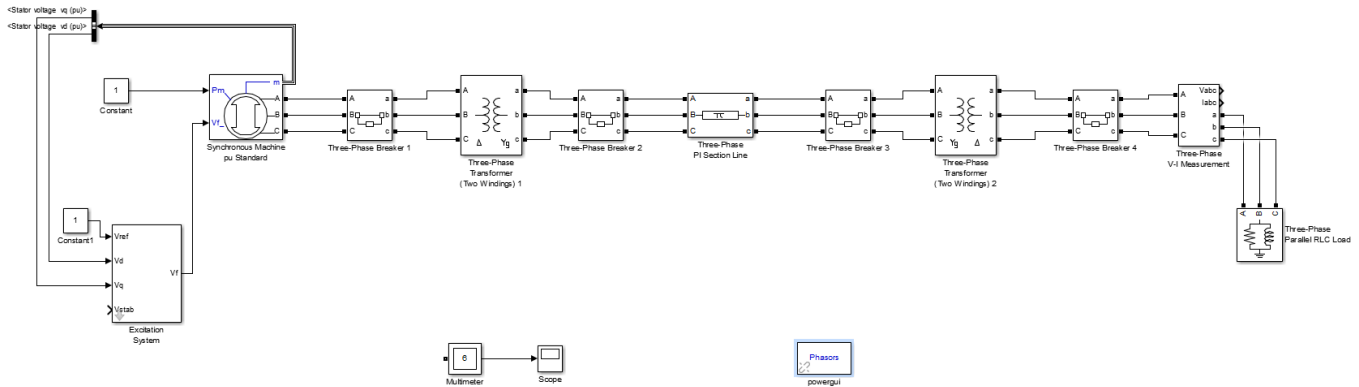
1. Sistem Tenaga Elektrik adalah proses mentransmisikan listrik 3 fasa dimulai dari pembangkit hingga dapat didistribusikan kepada pengguna listrik di pemukiman atau sebagainya.
2. Komponen-komponen yang digunakan pada sistem tenaga elektrik diantaranya generator, circuit breaker, transformer, line transmission, beban, dan peralatan pengukuran (instrumen).
3. Sistem Tenaga Elektrik dapat disimulasikan dengan menggunakan MATLAB yaitu dengan menggunakan Simulink, seperti yang praktikan lakukan pada praktikum kali ini.

REFERENSI

- [1] Hutabarat, Mervin Tangguar, dkk. Modul Praktikum EL3217 Sistem Tenaga Elektrik. Bandung: ITB. 2019..

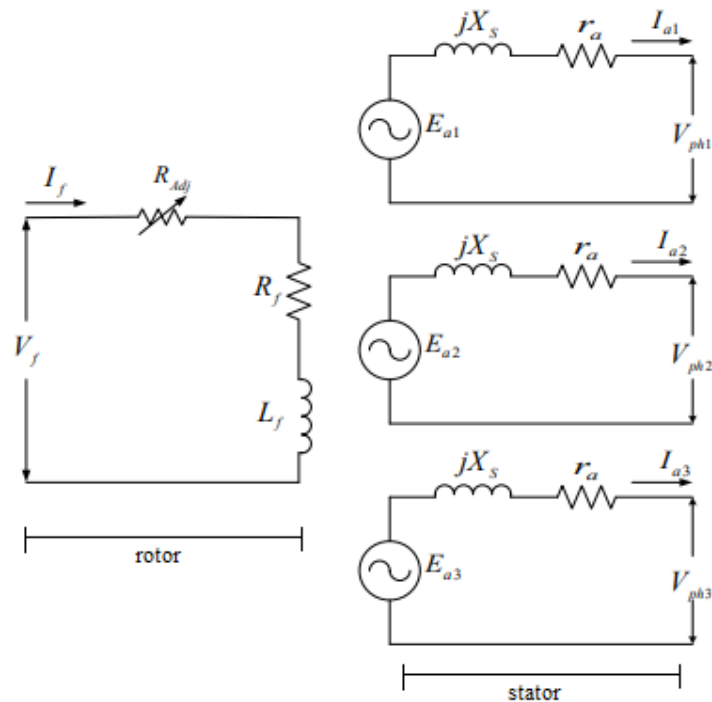
Lampiran

Rangkaian Simulink



Cara Kerja Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik secara elektromagnetik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (prime mover), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Secara umum generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang berputar dimana diletakkan kumparan medan yang disuplai oleh arus searah dari eksitasi tegangan DC. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor. Berikut adalah rangkaian ekuivalen dari generator sinkron (pada gambar ini generator sinkron 3 fasa):



dengan E_a , E_b , E_c = GGL induksi untuk masing-masing fasa yang berbeda 120° (Volt); V_{ph1} , V_{ph2} , V_{ph3} = Tegangan terminal generator tiap fasa (Volt); V_f = Tegangan DC sebagai Tegangan Eksitasi (Volt); R_f = Tahanan belitan medan (ohm); L_f = Induktansi belitan medan (H); R_{adj} = Tahanan variabel (ohm); r_a = Tahanan jangkar (ohm); X_s = Reaktansi sinkron (ohm) yang

merupakan jumlah dari Reaktansi reaksi jangkar (ohm) dan Reaktansi bocor belitan jangkar (ohm); dan I_{a1} , I_{a2} , I_{a3} = Arus jangkar tiap fasa (Ampere).

Mekanisme singkat dari kerja Generator Sinkron adalah sebagai berikut:

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu (Sumber DC) yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (Prime Mover) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut. Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120° satu sama lain.

Perbedaan Tipe Generator Synchronous Machine Pu Standard pada Simulink

Tipe generator PQ merupakan generator dengan keadaan dimana nilai dari active power dan reactive power ditentukan.

Tipe generator PV merupakan generator dengan keadaan dimana nilai nominal power dan line-to-line voltage generator ditentukan.

Tipe generator swing merupakan generator dengan keadaan dimana besar dan sudut dari line-to-line voltage ditentukan.