

PETUNJUK PRAKTIKUM

PRAKTIKUM
SISTEM TENAGA
ELEKTRIK

EL3217



**Laboratorium Sistem
Kendali dan Komputer**

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung

2024

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
Aturan Umum Laboratorium Dasar Teknik Elektro.....	ii
Panduan Umum Keselamatan dan Penggunaan Peralatan Laboratorium	iv
Tabel Sanksi Praktikum	vi
PERCOBAAN 1	1
Pengenalan Komponen & Perangkat Lunak SIMPOWERSYSTEMS™ dan SIMULINK® pada MATLAB.....	1
PERCOBAAN 2	13
Analisis Aliran Daya (Load Flow Analysis).....	13
PERCOBAAN 3	19
Analisis Aliran Daya Lanjut (Advanced Load Flow Analysis).....	19
PERCOBAAN 4	24
Analisis Hubung Singkat	24
PERCOBAAN 5	30
TUGAS BESAR	30

Aturan Umum Laboratorium Dasar Teknik Elektro

Kelengkapan

Setiap praktikan wajib berpakaian lengkap, mengenakan celana panjang/rok, kemeja dan mengenakan sepatu. Untuk memasuki ruang laboratorium praktikan wajib membawa kelengkapan berikut:

1. Modul praktikum,
2. Buku Catatan Laboratorium (BCL),
3. Alat tulis dan kalkulator,
4. Kartu Nama (Name tag), dan
5. Kartu Praktikum.

Persiapan/ Sebelum Praktikum

Sebelum mengikuti percobaan sesuai jadwalnya, sebelum memasuki laboratorium praktikan harus mempersiapkan diri dengan melakukan hal-hal berikut:

- 1) Membaca dan memahami isi modul praktikum,
- 2) Mengerjakan hal-hal yang harus dikerjakan sebelum praktikum dilaksanakan, misalnya mengerjakan tugas pendahuluan, melakukan perhitungan-perhitungan, menyalin source code, mengisi Kartu Praktikum dsb.,
- 3) Mengisi daftar hadir di Tata Usaha Laboratorium,
- 4) Untuk praktikum STE, mahasiswa tidak perlu mengambil kunci loker dan absen keluar. Diperbolehkan membawa tas ke dalam ruangan praktikum.

Selama Praktikum

- 1) Setelah dipersilahkan masuk dan menempati bangku dan meja kerja, praktikan haruslah:
- 2) Menuliskan identitas diri pada Berita Acara Praktikum yang diedarkan oleh asisten,
- 3) Memperhatikan dan mengerjakan setiap percobaan dengan waktu sebaik-baiknya, diawali dengan kehadiran praktikan secara tepat waktu,
- 4) Mengumpulkan Kartu Praktikum pada asisten,
- 5) Melakukan pengecekan terhadap peralatan praktikum (termasuk kabel di dalam boks kabel) sebelum memulai praktikum,
- 6) Mendokumentasikan dalam Buku Catatan Laboratorium. (lihat Petunjuk Penggunaan BCL) tentang hal-hal penting terkait percobaan yang sedang dilakukan.

Setelah Praktikum

Setelah menyelesaikan percobaan, praktikan harus

- Memastikan BCL dan Kartu Praktikum telah ditandatangani oleh asisten,
- Mengerjakan laporan dalam bentuk SoftCopy (lihat Panduan Penyusunan Laporan di laman <http://ldte.stei.itb.ac.id>),
- Mengumpulkan file laporan dengan cara mengunggah di laman <http://praktikum.stei.itb.ac.id>. Waktu pengiriman paling lambat jam 16.00 WIB, dua hari kerja berikutnya setelah praktikum, kecuali ada kesepakatan lain antara Dosen Pengajar dan/atau Asisten.

Pergantian Jadwal

Kasus Biasa

Pergantian jadwal dilakukan dengan proses pertukaran. Pertukaran jadwal hanya dapat dilakukan per orang dengan modul yang sama. Langkah untuk menukar jadwal adalah sebagai berikut:

1. Lihatlah format Pertukaran Jadwal di <http://ldte.stei.itb.ac.id> pada halaman Panduan
2. Salah satu praktikan yang bertukar jadwal harus mengirimkan e-mail ke labdasar@stei.itb.ac.id atau melalui akun Official Line : @kiy3574q. Waktu pengiriman paling lambat jam 16.30, satu hari kerja sebelum praktikum yang dipertukarkan.
3. Pertukaran diperbolehkan setelah ada konfirmasi dari Lab. Dasar.

Kasus Sakit atau Urusan Mendesak Pribadi Lainnya

Jadwal pengganti dapat diberikan kepada praktikan yang sakit atau memiliki urusan mendesak pribadi. Praktikan yang hendak mengubah jadwal untuk urusan pribadi mendesak harus memberitahu staf tata usaha laboratorium sebelum jadwal praktikumnya melalui email.

Segera setelah praktikan memungkinkan mengikuti kegiatan akademik, praktikan dapat mengikuti praktikum pengganti setelah mendapatkan konfirmasi dari staf tata usaha laboratorium dengan melampirkan surat keterangan dokter bagi yang sakit atau surat terkait untuk yang memiliki urusan pribadi.

Kasus "kepentingan massal"

"Kepentingan massal" terjadi jika ada lebih dari sepertiga rombongan praktikan yang tidak dapat melaksanakan praktikum pada satu hari yang sama karena alasan yang terkait kegiatan akademis, misalnya Ujian Tengah Semester pada jadwal kelompoknya. Beritahukan kepada administrasi TU Lab. Dasar secepatnya. Jadwal praktikum pengganti satu hari itu akan ditentukan kemudian oleh admin Lab. Dasar.

Sanksi

Pengabaian aturan-aturan di atas dapat dikenakan sanksi pengurangan nilai praktikum terkait.

Panduan Umum Keselamatan dan Penggunaan Peralatan Laboratorium

Keselamatan

Pada prinsipnya, untuk mewujudkan praktikum yang aman diperlukan partisipasi seluruh praktikan dan asisten pada praktikum yang bersangkutan. Dengan demikian, kepatuhan setiap praktikan terhadap uraian panduan pada bagian ini akan sangat membantu mewujudkan praktikum yang aman.

Bahaya Listrik

Perhatikan dan pelajari tempat-tempat sumber listrik (stop-kontak dan circuit breaker) dan cara menyala-matikannya. Jika melihat ada kerusakan yang berpotensi menimbulkan bahaya, laporkan pada asisten.

- Hindari daerah atau benda yang berpotensi menimbulkan bahaya listrik (sengatan listrik/ strum) secara tidak disengaja, misalnya kabel jala-jala yang terkelupas dll.
- Tidak melakukan sesuatu yang dapat menimbulkan bahaya listrik pada diri sendiri atau orang lain.
- Keringkan bagian tubuh yang basah karena, misalnya, keringat atau sisa air wudhu.
- Selalu waspada terhadap bahaya listrik pada setiap aktivitas praktikum.

Kecelakaan akibat bahaya listrik yang sering terjadi adalah tersengat arus listrik. Berikut ini adalah hal-hal yang harus diikuti praktikan jika hal itu terjadi:

- Jangan panik,
- Matikan semua peralatan elektronik dan sumber listrik di meja masing-masing dan di meja praktikan yang tersengat arus listrik,
- Bantu praktikan yang tersengat arus listrik untuk melepaskan diri dari sumber listrik,
- Beritahukan dan minta bantuan asisten, praktikan lain dan orang di sekitar anda tentang terjadinya kecelakaan akibat bahaya listrik.

Bahaya Api atau Panas berlebih

Jangan membawa benda-benda mudah terbakar (korek api, gas dll.) ke dalam ruang praktikum bila tidak disyaratkan dalam modul praktikum.

- Jangan melakukan sesuatu yang dapat menimbulkan api, percikan api atau panas yang berlebihan.
- Jangan melakukan sesuatu yang dapat menimbulkan bahaya api atau panas berlebih pada diri sendiri atau orang lain.
- Selalu waspada terhadap bahaya api atau panas berlebih pada setiap aktivitas praktikum.

Berikut ini adalah hal-hal yang harus diikuti praktikan jika menghadapi bahaya api atau panas berlebih:

- Jangan panik, beritahukan dan minta bantuan asisten, praktikan lain dan orang di sekitar anda tentang terjadinya bahaya api atau panas berlebih, Menjauh dari ruang praktikum.

Bahaya Lain

Untuk menghindari terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan selama pelaksanaan percobaan perhatikan juga hal-hal berikut:

- Jangan membawa benda tajam (pisau, gunting dan sejenisnya) ke ruang praktikum bila tidak diperlukan untuk pelaksanaan percobaan.
- Jangan memakai perhiasan dari logam misalnya cincin, kalung, gelang dll.
- Hindari daerah, benda atau logam yang memiliki bagian tajam dan dapat melukai
- Hindari melakukan sesuatu yang dapat menimbulkan luka pada diri sendiri atau orang lain, misalnya bermain-main saat praktikum

Lain-lain

Praktikan dilarang membawa makanan dan minuman ke dalam ruang praktikum.

Penggunaan Peralatan Praktikum

Berikut ini adalah panduan yang harus dipatuhi ketika menggunakan alat-alat praktikum:

- Sebelum menggunakan alat-alat praktikum, pahami petunjuk penggunaan alat itu. Petunjuk penggunaan beberapa alat dapat didownload di <http://lde.stei.itb.ac.id>.
- Perhatikan dan patuhi peringatan (warning) yang biasa tertera pada badan alat.
- Pahami fungsi atau peruntukan alat-alat praktikum dan gunakanlah alat-alat tersebut hanya untuk aktivitas yang sesuai fungsi atau peruntukannya. Menggunakan alat praktikum di luar fungsi atau peruntukannya dapat menimbulkan kerusakan pada alat tersebut dan bahaya keselamatan praktikan.
- Pahami rating dan jangkauan kerja alat-alat praktikum dan gunakanlah alat-alat tersebut sesuai rating dan jangkauan kerjanya. Menggunakan alat praktikum di luar rating dan jangkauan kerjanya dapat menimbulkan kerusakan pada alat tersebut dan bahaya keselamatan praktikan.
- Pastikan seluruh peralatan praktikum yang digunakan aman dari benda/ logam tajam, api/ panas berlebih atau lainnya yang dapat mengakibatkan kerusakan pada alat tersebut.
- Tidak melakukan aktifitas yang dapat menyebabkan kotor, coretan, goresan atau sejenisnya pada badan alat-alat praktikum yang digunakan.
- Kerusakan instrumentasi praktikum menjadi tanggung jawab bersama rombongan praktikum ybs. Alat yang rusak harus diganti oleh rombongan tersebut.

Sanksi

Pengabaian uraian panduan di atas dapat dikenakan sanksi tidak lulus mata kuliah praktikum yang bersangkutan

Tabel Sanksi Praktikum

Lab Dasar Teknik Elektro

Level	Waktu	Kasus	Sanksi	Pengurangan nilai per modul
Akademik	Saat dan setelah praktikum	Semua kegiatan plagiasi (mencontek): tugas pendahuluan, test dalam praktikum, laporan praktikum	Gugur praktikum	
		Sengaja tidak mengikuti praktikum		
Berat	Saat praktikum	Tidak hadir praktikum	Gugur modul	
		Terlambat hadir praktikum		
		Pakaian tidak sesuai: kemeja, sepatu		
		Tugas pendahuluan tidak dikerjakan/hilang/tertinggal		
Ringan	Saat Praktikum	Pertukaran jadwal tidak sesuai aturan/ketentuan		-25 nilai akhir
		Tidak mempelajari modul sebelum praktikum/tidak mengerti isi modul	Dikeluarkan dari praktikum	-25 nilai akhir
		BCL tertinggal/hilang		-100% nilai BCL
		Name Tag tertinggal/hilang		-10 nilai akhir
		Kartu praktikum tertinggal/hilang		-25 nilai akhir
		Kartu praktikum tidak lengkap data dan foto		-10 nilai akhir
		Loker tidak dikunci/kunci tertinggal		-10 nilai akhir
		Tidak ada paraf asisten di BCL/kartu praktikum		-25 nilai akhir
	Setelah Praktikum	Terlambat mengumpulkan laporan		-1/min nilai akhir, maks -50
		Terlambat mengumpulkan BCL		-1/min nilai BCL, maks -50
		Tidak bawa kartu praktikum saat pengumpulan BCL		-50 nilai BCL
		Tidak minta paraf admin saat pengumpulan BCL		-50 nilai BCL

Catatan:

1. Pelanggaran akademik menyebabkan gugur praktikum, nilai praktikum E
2. Dalam satu praktikum, praktikan maksimal boleh melakukan
 - a. 1 pelanggaran berat dan 1 pelanggaran ringan; atau
 - b. 3 pelanggaran ringan
3. Jika jumlah pelanggaran melewati point 2, praktikan dianggap gugur praktikum.
4. Praktikan yang terkena sanksi gugur modul wajib mengganti praktikum pada hari lain dengan nilai modul tetap 0. Waktu pengganti praktikum ditetapkan bersama asisten. Jika praktikan tidak mengikuti ketentuan praktikum (pengganti) dengan baik, akan dikenakan sanksi gugur praktikum.
5. Setiap pelanggaran berat dan ringan dicatat/diberikan tanda di kartu praktikum
6. Waktu acuan adalah waktu sinkron dengan NIST
7. Sanksi yang tercantum di tabel adalah sanksi minimum.
8. Sanksi yang belum tercantum akan ditentukan kemudian.

PLAGIARISME DAN KECURANGAN AKADEMIK

Plagiarisme merupakan salah satu bentuk kecurangan akademik. Definisi **plagiarisme** sesuai Peraturan Akademik ITB adalah **menggunakan kata-kata atau karya orang lain sebagai kata-kata atau karya sendiri dalam suatu kegiatan akademik tanpa menyebutkan acuan yang dipakai**. Plagiarisme bisa dilakukan secara sengaja, akibat kecerobohan, maupun tidak sengaja. Plagiarisme merupakan pelanggaran integritas akademik. **Prinsip kejujuran intelektual** menyiratkan bahwa semua anggota komunitas akademik harus mengakui peran pemilik gagasan awal dalam hal kata-kata dan data yang membentuk dasar untuk pekerjaan mereka sendiri. Mengakui karya orang lain sebagai milik anda memberi makna bahwa anda telah gagal menyelesaikan proses pembelajaran. Plagiarisme adalah sangat tidak etis dan memiliki konsekuensi serius bagi karir masa depan Anda sekaligus merusak reputasi institusi.

Bentuk-bentuk plagiarisme:

1. Mengutip kata demi kata (Verbatim)
2. Parafrase: menuliskan kembali karya hasil orang lain dengan mengubah kata atau mengubah urutan kalimat, dengan mengikuti struktur argumen orang lain tersebut tanpa menyebutkan acuan.
3. Kolusi: kolaborasi tidak sah antar mahasiswa tanpa atribusi terhadap bantuan dari luar yang diterima, atau tidak mengikuti sebenarnya pada peraturan kerja berkelompok
4. Kutipan tidak akurat: salah kutip atau mencantumkan referensi yang tidak pernah dikutip.
5. Apresiasi (*acknowledgement*) tidak akurat: tidak menyebutkan kontribusi pihak yang berkontribusi atau sebaliknya memberi apresiasi pada pihak yang tidak berkontribusi.
6. Menggunakan jasa pihak ketiga, profesional maupun tidak.

Prinsip menghindari plagiarisme:

1. Semua karya ilmiah harus dilandasi latar belakang, motivasi, dan lain sebagainya yang bisa dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Adalah wajib untuk menggunakan referensi untuk mendukung ide-ide yang telah Anda kembangkan.
2. Dalam karya ilmiah, Anda harus menunjukkan bahwa Anda memiliki pemahaman yang jelas dan benar tentang materi yang telah Anda dapatkan dari referensi.
3. Berikan kejelasan antara analisa (ide) original Anda dengan apa yang telah diambil dari referensi:
 - Berikan penanda bagian mana suatu paragraf adalah berasal dari referensi.
 - Kutipan harus selalu diidentifikasi dengan menggunakan tanda kutip atau indentasi, dan dengan referensi penuh dari sumber yang dikutip.
 - Untuk menghindari parafrase, lebih baik menuliskan kembali ringkasan singkat dari keseluruhan sumber dengan kata-kata sendiri, dan dengan jelas menunjukkan bahwa itu yang dilakukan sehingga jelas bagian mana yang merupakan ide original Anda, mana yang diambil dari referensi.
 - Untuk menghindari kolusi, adalah tanggung jawab Anda untuk memastikan bahwa Anda sepenuhnya jelas tentang sejauh mana kolaborasi/kerja kelompok diizinkan, dan bagian mana dari pekerjaan itu harus Anda kerjakan sendiri.
 - Tidak boleh memasukkan apa pun dalam referensi atau bibliografi yang sebenarnya tidak direferensikan.
 - Jika akses ke sumber utama tidak diperoleh, boleh menggunakan teks sekunder.
 - Sitasi (menyebutkan) referensi harus diikuti dengan identifikasi pengutipannya dalam paragraf.

Kecurangan akademik dalam pelaksanaan praktikum

Tugas pendahuluan harus dikerjakan sendiri dalam setiap aspeknya, baik apabila tugas berupa analisis, perhitungan, atau simulasi. Kegiatan mencontoh atau meniru tugas pendahuluan tidak diperkenankan, dan apabila terbukti/bisa dibuktikan dapat dianggap melakukan kecurangan akademik seperti halnya mencontek. Apabila tugas yang diberikan membutuhkan referensi dari buku, internet dan sejenisnya, berlaku aturan plagiarisme. Untuk menghindari plagiarisme dalam mengerjakan tugas pendahuluan yang membutuhkan referensi, gunakan minimal 3 referensi dengan melakukan elaborasi dari referensi-referensi tersebut. Hindari dalam menggunakan hanya satu referensi meskipun dengan melakukan parafrase.

Tes awal termasuk dalam kategori yang sama dengan kuis atau **ujian**, dimana segala bentuk upaya mendapatkan bantuan dari pihak luar (mencontek pekerjaan peserta lain dengan bekerjasama atau tidak, menerima bantuan melalui alat komunikasi, memakai joki, dsb) dan menggunakan metode diluar yang diperkenankan (memakai contekan: melalui catatan, smartphone, dsb) adalah terlarang dan merupakan pelanggaran akademik.

Laporan praktikum sebagaimana laporan teknis, makalah, dan buku TA termasuk dalam kategori karya ilmiah, sehingga definisi dan aturan mengenai plagiarisme berlaku. Kecurangan yang biasa dilakukan diantaranya menggunakan data dari peserta lain, menggunakan template laporan peserta lain dan hanya mengganti datanya dan melakukan parafrase isi laporan yang lain.

PERCOBAAN 1

PENGENALAN KOMPONEN & PERANGKAT LUNAK SIMPOWERSYSTEMS™ DAN SIMULINK® PADA MATLAB

1.1 Tujuan

Setelah melakukan modul ini, praktikan diharapkan mampu:

- ✓ 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

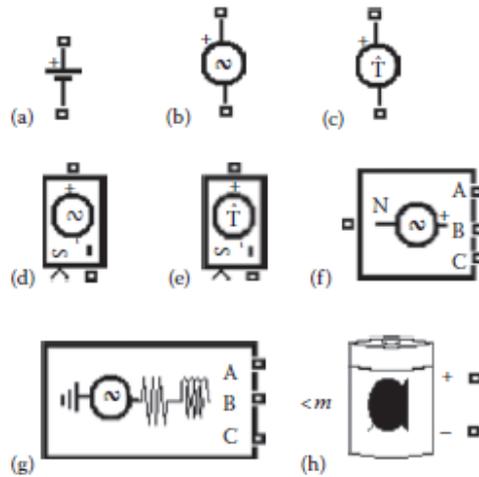
1.2 Teori Pendahuluan

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.

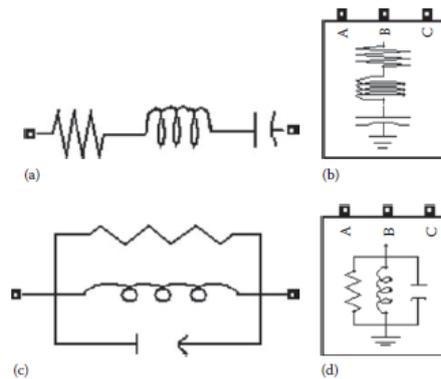
1.2.1 Model Blok SimPowerSystems™

1.2.1.1 Sumber Elektrik

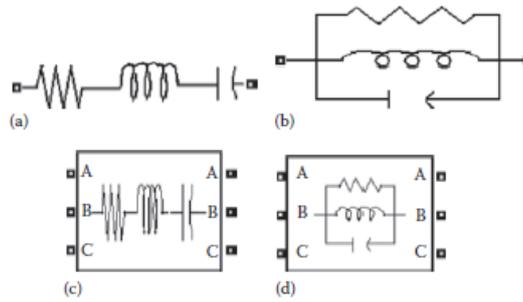


Model Sumber Elektrik: (a) Sumber Tegangan DC; (b) Sumber Tegangan AC; (c) Sumber Arus AC; (d) Sumber Tegangan Terkendali; (e) Sumber Arus Terkendali; (f) Sumber Tegangan 3-fasa Terprogram; (g) Sumber 3-fasa; (h) Baterai

1.2.1.2 Impedansi dan Beban

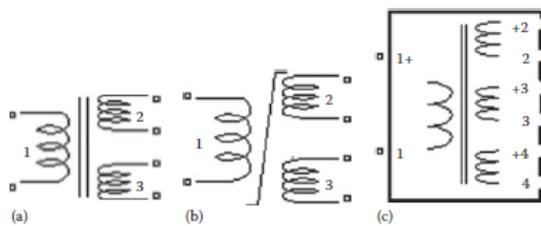


Model Beban: (a) Beban RLC seri; (b) Beban RLC seri 3-fasa; (c) Beban RLC parallel; (d) Beban RLC parallel 3-fasa

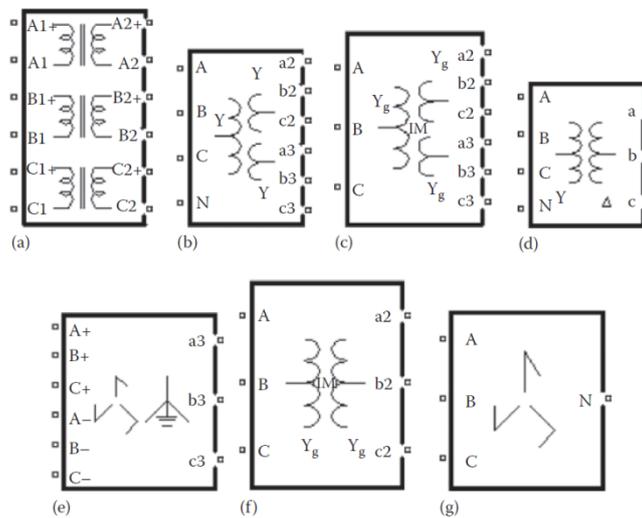


Model Branch: (a) Branch RLC seri; (b) Branch RLC parallel; (c) Branch RLC seri 3-fasa; (d) Branch RLC parallel 3-fasa

1.2.1.3 Transformer



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

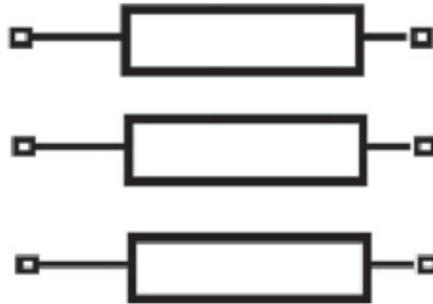


Model Transformer 3-fasa: (a) Transformer 3-fasa 12 terminal; (b) Transformer 3-fasa (3 winding); (c) Transformer induktansi 3-fasa tipe matriks (3 winding); (d) Transformer 3-fasa (2 winding); (e) Transformer Zigzag Phase-Shifting; (f) Transformer induktansi 3-fasa tipe matriks (2 winding); (g) Transformer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

1.2.1.4 Transmisi



Single-phase line

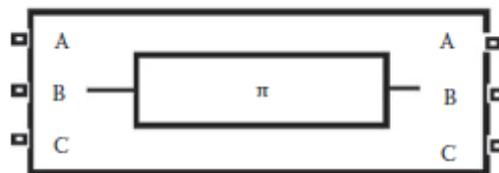


Three-phase line

Model Distributed Parameter Line



PI Section Line



Three-Phase
PI Section Line

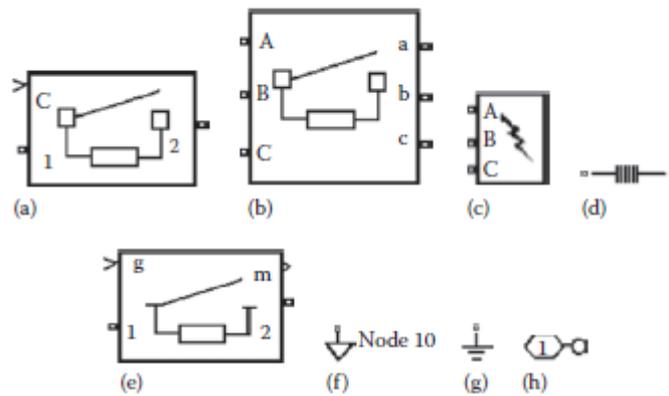
Model PI Section Line

TABLE 2.1

Typical Parameters of Transmission Lines

Voltage (kV)	220–230	330–345	500	750–765	1100–1150
R (Ω/km) 10^{-2}	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_c (Ω)	377–387	285–300	250–278	255–260	230–250
NP (MW)	125–140	360–420	900–1000	2160–2280	5260–5300

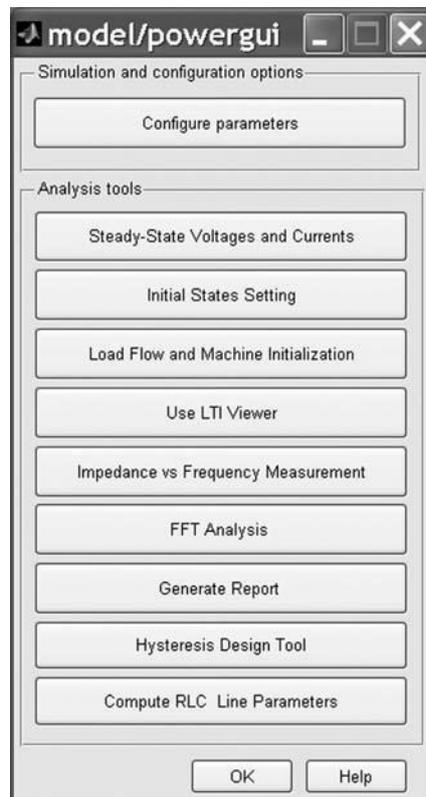
1.2.1.6 Elemen Lain



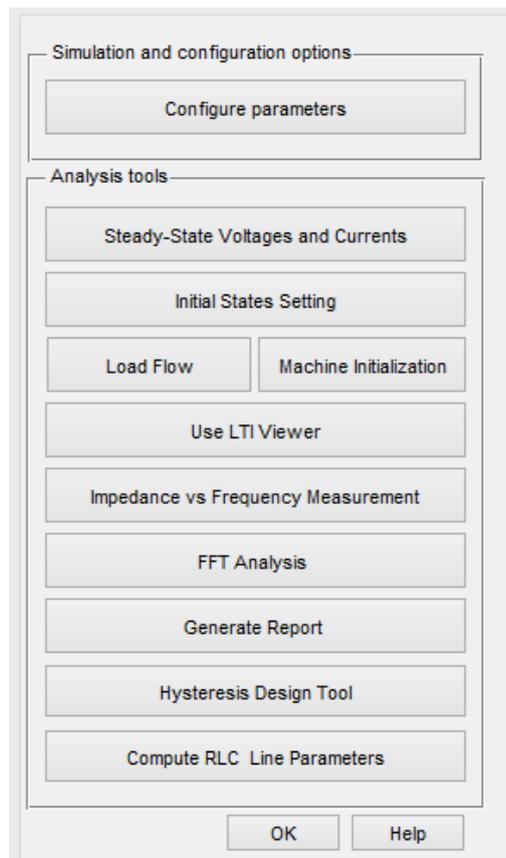
(a) Breaker; (b) Breaker 3-fasa; (c) Fault 3-fasa; (d) Surge Arrester; (e) Ideal Switch; (f) Neutral; (g) Ground; (h) Connection Port

1.2.2 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:



1.3 Tugas Pendahuluan

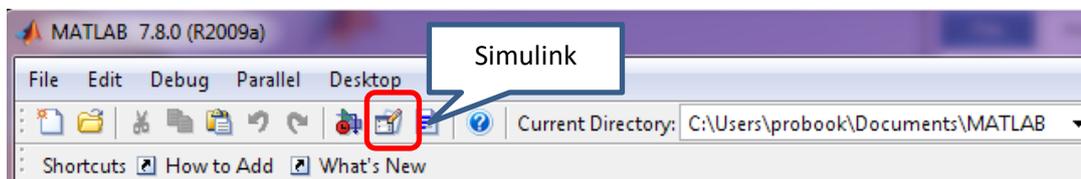
1. GENERATOR
 - a. Jelaskan fungsi dan cara kerja dari:
 - Generator DC
 - Generator Sinkron
 - b. Gambarkan dan jelaskan rangkaian ekivalen generator!
 - c. Turunkan persamaan rangkaian ekivalen generator apabila diketahui spesifikasi dari generator tersebut!
2. BREAKER
 - a. Jelaskan apa dan bagaimana cara kerja breaker! (Dalam sistem tenaga listrik)
 - b. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis breaker serta perbedaannya!
3. TRANSFORMATOR
 - a. Jelaskan apa dan bagaimana cara kerja transformator!
 - b. Gambarkan dan jelaskan rangkaian ekivalen transformator!

- c. Turunkan persamaan rangkaian ekuivalen transformer apabila diketahui spesifikasi dari transformer tersebut!
4. TRANSMISI
- Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis transmisi!
 - Faktor apa saja yang mempengaruhi parameter line transmisi?
 - Jelaskan apa PI line dan gambarkan rangkaian ekivalennya!
 - Turunkan persamaan rangkaian ekuivalen PI line apabila diketahui spesifikasi dari PI line tersebut!
5. BEBAN
- Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis beban dalam suatu sistem!
 - Gambarkan dan jelaskan rangkaian ekuivalen dari:
 - Motor
 - Lampu
 dan turunkan persamaannya!

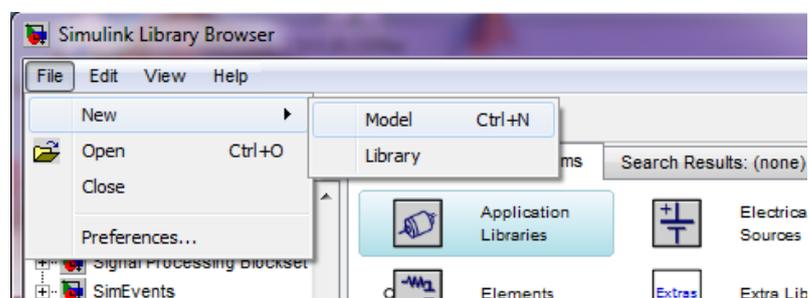
1.4 Prosedur Praktikum

1.4.1 Persiapan Perangkat Lunak

- Buka Program MATLAB pada PC Anda.
- Klik icon Simulink® pada toolbar MATLAB.



- Untuk membuat lembar model baru, pilih menu file > new > model (atau dengan perintah Ctrl+N).



1.4.2 Pembuatan Rangkaian menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB

Catatan: Apabila terdapat parameter yang tidak tercantum pada modul ini, nilai untuk parameter tersebut dibiarkan tetap, tidak diubah.

a. Buat rangkaian dengan spesifikasi sebagai berikut:

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

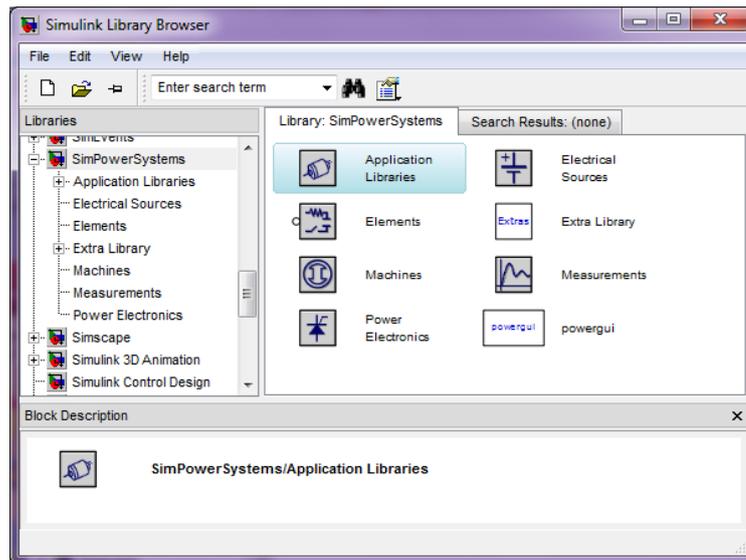
Trafo 1 : 20 MVA, 13.8 – 132 kV, Delta – Wye, $R_t = 0.01$ pu, $X_t = 0.1$ pu

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

b. Pada kolom Libraries, pilih blok set SimPowerSystems™.



c. Kemudian cari model blok dari rangkaian yang Anda inginkan.

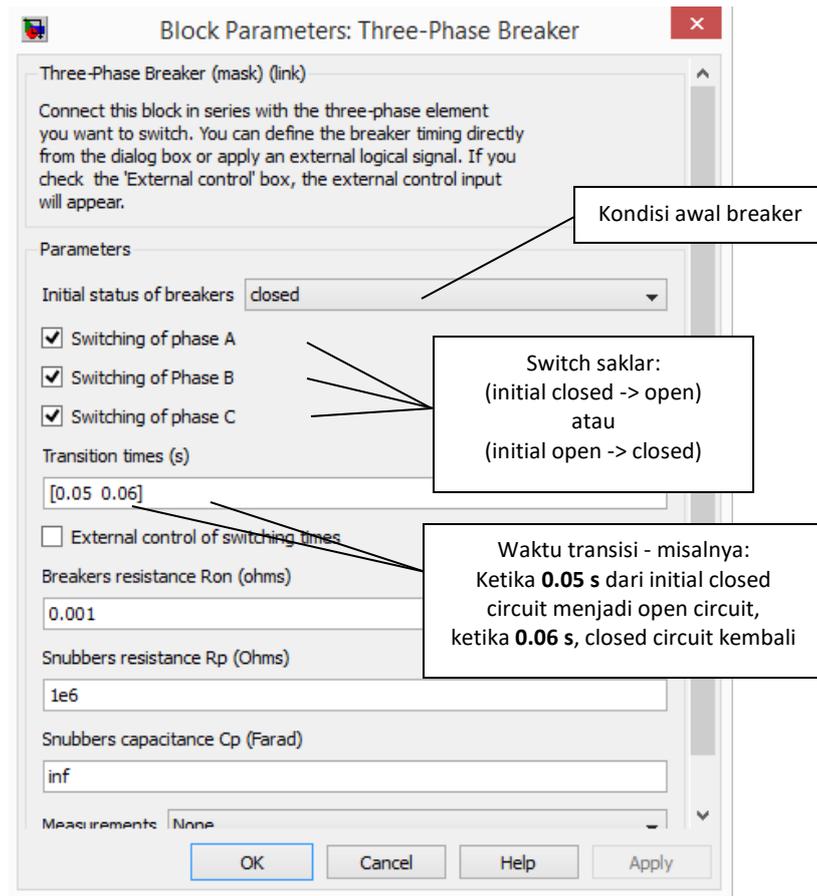
d. Klik dan Drag model blok tersebut ke lembar model yang telah Anda buat.

e. Untuk mengubah parameter, klik dua kali pada model blok tersebut. Ubah parameter sesuai dengan rancangan rangkaian Anda.

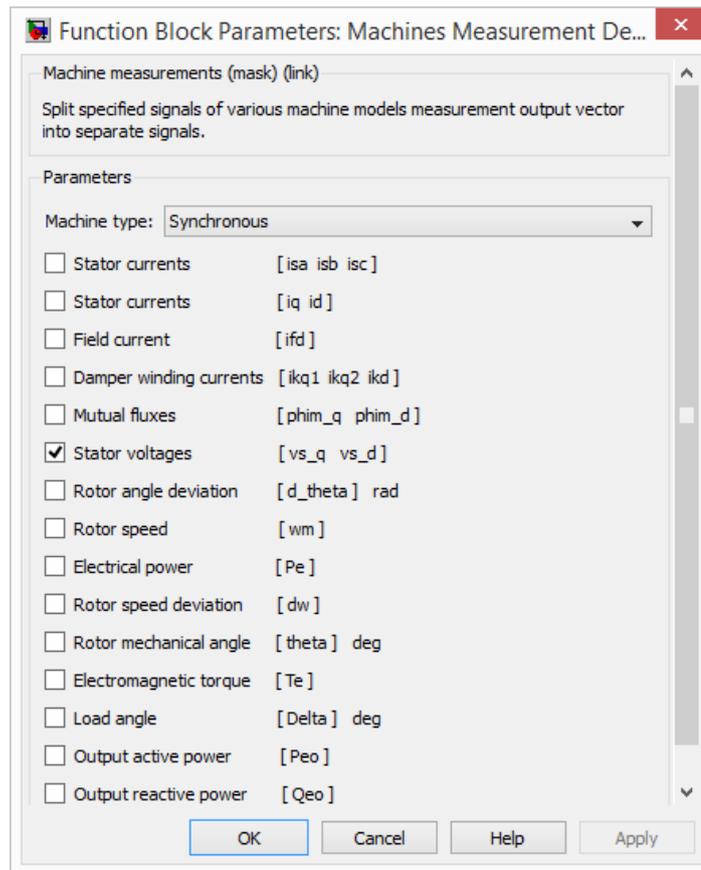
f. Untuk menghubungkan antar model blok, klik dan tahan antara keluaran dan masukan blok yang Anda inginkan. Masukan dan keluaran untuk blok set SimPowerSystems™ ditandai dengan □, sedangkan untuk blok set Simulink® ditandai dengan >. Anda hanya dapat menghubungkan dengan tanda yang sama.

1.4.3 Simulasi Rangkaian menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB

- Setelah membuat rangkaian yang Anda inginkan, simulasikan rangkaian tersebut. Sebelum itu, tentukan waktu lamanya simulasi berjalan (misalnya dalam waktu 0.1 detik). Kemudian jalankan simulasi dengan mengklik ikon start simulation.
- Munculkan **grafik tegangan** dan **arus tiap fasa di beban**.
- Untuk penggunaan breaker, gunakan *three phase breaker*. Dengan langkah pengaturan sebagai berikut:



- Pada gambar “Rangkaian Modul 1 Pada Simulink” di akhir modul 1 ini, terdapat *feedback* dari generator berupa tegangan stator (d_{stator} , q_{stator}) dalam dq transform yang digunakan dalam sistem eksitasi generator. Untuk mengambil data ini, digunakan *Machines Measurement Demux* dengan konfigurasi di dalamnya:



Hasil keluaran dari *Machines Measurement* dimasukkan ke dalam *Demux*. Keluaran dari *Demux* berupa v_d dan v_q dimasukkan sebagai input dari *Excitation System*.

(!) **APABILA** digunakan Simulink/MATLAB dengan versi yang terbaru, *Demux* dapat diganti dengan *bus selector* untuk mengambil *feedback* tegangan stator.

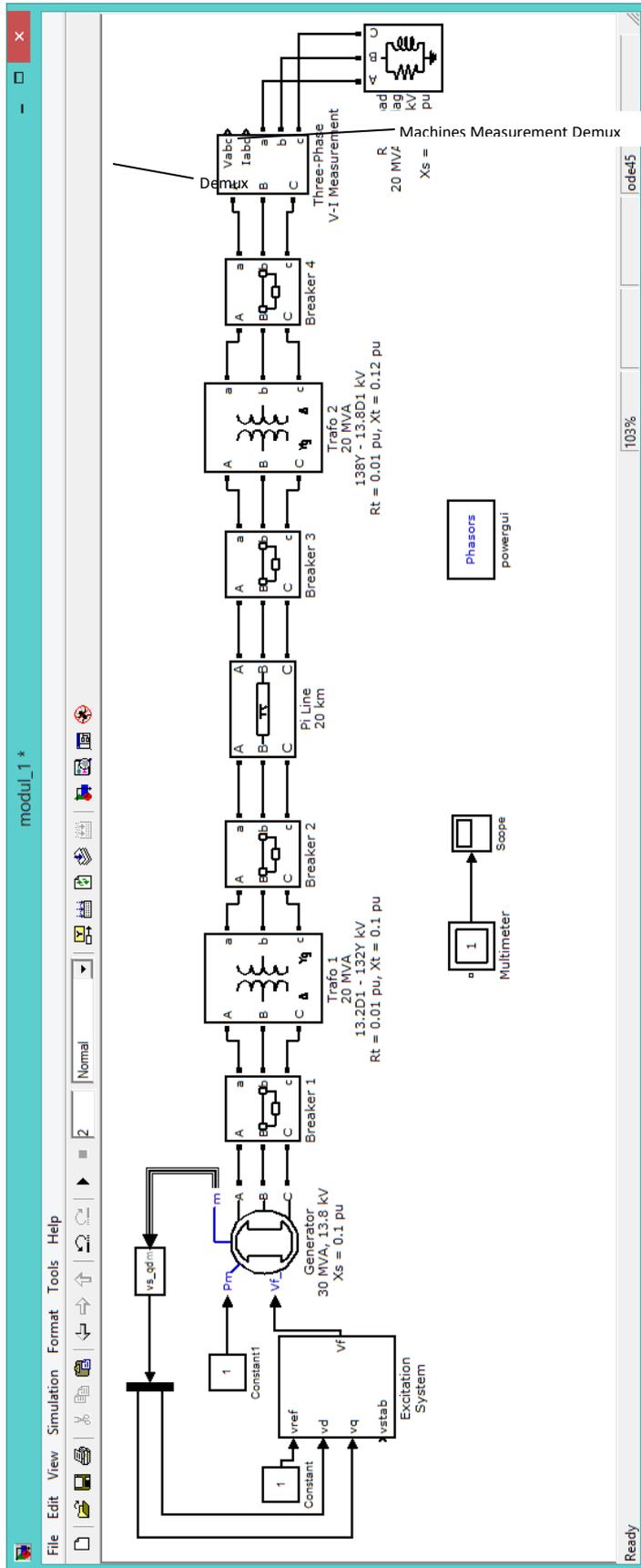
1.5 Pertanyaan

1. Jelaskan fungsi dari system eksitasi pada generator!
2. Apabila suatu saat breaker terputus (keadaan open), apa yang terjadi pada sinyal keluaran tegangan pada beban? Jelaskan!
3. Buat perhitungan dalam system pu untuk mencari arus pada beban!
4. Bandingkan hasil perhitungan Anda dengan simulasi pada MATLAB! Analisa hasilnya!

1.6 References

1. Mathworks, *SimPowerSystems™, User's Guide*, 2004–2011.
2. Mathworks, *Control System Toolbox™, User's Guide*, 2004–2011.
3. Viktor M. Perelmuter, *Electrotechnical Systems, Simulation with Simulink® and SimPowerSystems™*, 2013.

RANGKAIAN MODUL 1 PADA SIMULINK



PERCOBAAN 2

ANALISIS ALIRAN DAYA (LOAD FLOW ANALYSIS)

2.1 Tujuan

Setelah melakukan modul ini, praktikan diharapkan mampu:

- ✓ Memahami konsep aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik
- ✓ Melakukan analisis terhadap perubahan-perubahan aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik dengan menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB

2.2 Teori Pendahuluan

Studi aliran daya menghitung tegangan arus, daya aktif, daya reaktif dan faktor daya pada suatu sistem tenaga. Perencanaan, perancangan dan pengoperasian sistem tenaga membutuhkan perhitungan-perhitungan tersebut untuk menganalisis performansi sistem pada kondisi mantap dalam berbagai macam kondisi operasi.

Pada praktikum ini, solusi aliran daya diperoleh dengan menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB (untuk mengerti detail formula perhitungan aliran daya, praktikan disarankan untuk membaca panduan buku teks mengenai analisis sistem tenaga). Permasalahan mendasar yang dipecahkan dengan studi aliran daya ini adalah menemukan aliran daya pada setiap saluran dan transformator di jaringan, serta besar tegangan dan sudut fasa pada setiap busbar di jaringan, setelah data konsumsi daya pada titik-titik beban dan produksi daya pada sisi generator diketahui.

Analisa solusi aliran daya ini akan memberikan gambaran apakah sistem tenaga yang ada memiliki performansi yang memenuhi kriteria-kriteria yang telah ditetapkan pada sistem tersebut, seperti antara lain:

- Pembebanan komponen dan rangkaian
- Tegangan bus pada kondisi mantap
- Aliran daya reaktif
- Rugi-rugi sistem

2.3 Tugas Pendahuluan

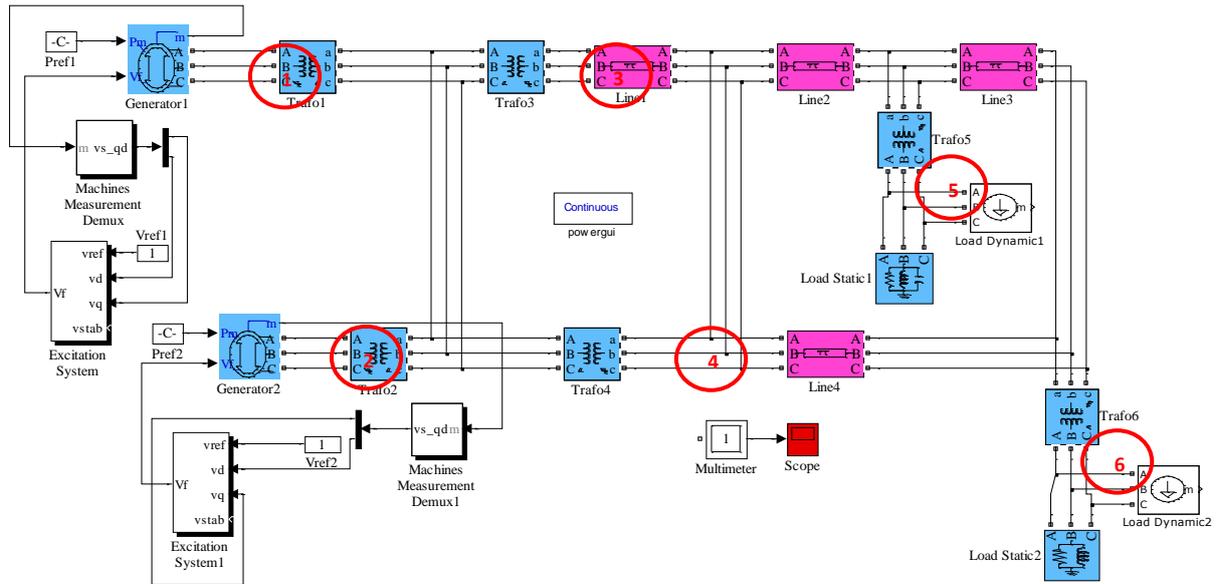
1. GENERATOR
 - a. Jelaskan cara kerja generator dengan model kurva kapabilitas!

- b. Jelaskan 3 mode operasi generator!
 - c. Jelaskan cara kerja Governor untuk pengaturan daya mekanik pada generator!
 - d. Jelaskan fungsi AVR pada generator!
2. JARINGAN TRANSMISI, DISTRIBUSI DAN BEBAN
- a. Jelaskan perbedaan jaringan transmisi dan jaringan distribusi!
 - b. Jelaskan konfigurasi trafo yang biasa digunakan pada jaringan transmisi dan distribusi beserta alasannya!
 - c. Jelaskan perbedaan saluran udara dan kabel beserta aplikasi penggunaannya!
 - d. Jelaskan perbedaan dari masing-masing jaringan loop, spindle, dan radial!
 - e. Jelaskan perbedaan beban statis dan dinamis!
3. GANGGUAN
- a. Sebutkan dan jelaskan 5 jenis keadaan (state) yang menyatakan kondisi sistem tenaga listrik! Gambarkan diagramnya!
 - b. Apa yang dimaksud dengan undervoltage dan overvoltage? Apa saja penyebabnya dan bagaimana cara mengatasinya?
 - c. Apa yang dimaksud dengan overload? Apa saja penyebabnya dan bagaimana cara mengatasinya?
 - d. Jelaskan cara-cara mengurangi Voltage Drop pada bus beban yang letaknya jauh dari pembangkit!
 - e. Apa yang dimaksud dengan studi kontingensi? Jelaskan tujuannya!_

2.4 Prosedur Praktikum

2.4.1 Pembuatan Rangkaian Aliran Daya

- a. Buat rangkaian di bawah ini pada SimPowerSystems™.



b. Parameter rangkaian:

- Generator 1 : Swing 500 MVA, 20 kV, $X_s = 0.1$ pu
- Generator 2 : P & V Generator 500 MVA, 20 kV, $X_s = 0.1$ pu
- Trafo 1 = Trafo 2 : 1000 MVA, 20 – 70 kV, Wye – Delta, $R_t = 0.01$ pu, $X_t = 0.1$ pu
- Trafo 3 = Trafo 4 : 1000 MVA, 70 – 230 kV, Delta – Wye, $R_t = 0.01$ pu, $X_t = 0.1$ pu
- Trafo 5 = Trafo 6 : 1000 MVA, 230 – 20 kV, Wye – Delta, $R_t = 0.01$ pu, $X_t = 0.1$ pu
- Line 1 : 25 km, $R_l = 0.2$ Ohm/km, $X_l = 2$ Ohm/km
- Line 2 : 10 km, $R_l = 0.2$ Ohm/km, $X_l = 2$ Ohm/km
- Line 3 : 10 km, $R_l = 0.2$ Ohm/km, $X_l = 2$ Ohm/km
- Line 4 : 20 km, $R_l = 0.2$ Ohm/km, $X_l = 2$ Ohm/km
- Beban Statis 1 = 2 : 200 MVA, 0.8 lag, 20 kV, $X_s = 0.08$ pu
- Beban Dyn 1 = 2 : 200 MVA, 0.8 lag, 20 kV, $X_s = 0.08$ pu

(!) PERHATIKAN KONFIGURASI TRANSFORMATOR, koneksi antar fasa, frekuensi, dan parameter dalam setiap komponen! Apabila masih terdapat kesalahan, load flow tidak dapat dilakukan.

(!) Apabila dibutuhkan, pasanglah CB yang mengapit setiap komponen untuk proteksi (seperti pada modul 1)

Simulasi Rangkaian Aliran Daya

Setelah membuat rangkaian yang Anda inginkan, simulasikan rangkaian tersebut. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.

Titik pengukuran:

1. Output GEN 1 (SWING) / (P – Q – V – delta)
2. Output GEN 2 (PV) / (P – Q – V – delta)
3. Output TRAFO 3 (HV Side) / (P – Q – V)
4. Output TRAFO 4 (HV Side) / (P – Q – V)
5. Output TRAFO 5 (LV Side) / (P – Q – V)
6. Output TRAFO 6 (LV Side) / (P – Q – V)
7. Dynamic Load 1 / (P – Q – V – delta)
8. Dynamic Load 2 / (P – Q – V – delta)

2.4.2 Simulasi Rangkaian Aliran Daya dengan Perubahan Parameter Generator

- a. Ubah Parameter Generator 2. Catat perubahan parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik pengukuran, dengan 5 kondisi perubahan parameter (MVA GEN 2 < -20%, -10%, 0 , +10% , +20% >)

2.4.3 Simulasi Rangkaian Aliran Daya dengan Perubahan Parameter Beban

(MVA Static Load 1 atau 2 < -20%, -10%, 0 , +10% , +20% >)

- a. Ubah Parameter Beban 1. Catat perubahan parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- b. Ulangi langkah di atas untuk Beban2.

2.4.4 Simulasi Rangkaian Aliran Daya dengan Perubahan Parameter Line

(Panjang Line < -50%, -25%, 0 , +25% , +50% >)

- a. Ubah Parameter Line 1. Catat perubahan parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- b. Ulangi langkah di atas masing-masing untuk Line 2, 3 dan 4.

2.4.5 Simulasi Rangkaian Aliran Daya dengan Perubahan Parameter Transformator

(MVA Trafo < -75%, -50%, -25%, 0 >)

- a. Ubah Parameter Trafo 3. Catat perubahan parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- b. Ulangi langkah di atas untuk Trafo 4.

2.5 Pertanyaan

1. Pada saat rangkaian awal, berapa nilai pu dari tegangan pada masing-masing titik pengukuran! Kondisi apakah yang terjadi? (undervoltage atau overvoltage atau overload)?
2. Pada saat perubahan parameter yang dilakukan, kapan terjadinya kondisi undervoltage atau overvoltage pada busbar beban? Jelaskan analisisnya!
3. Plot hasil dari perubahan parameter yang dilakukan, terhadap daya dan tegangan pada titik beban pengukuran tersebut! Analisis mengenai hal yang terjadi!

2.6 References

1. Mathworks, SimPowerSystems™, User's Guide, 2004–2011.
2. Mathworks, Control System Toolbox™, User's Guide, 2004–2011.
3. Viktor M. Perelmuter, Electrotechnical Systems, Simulation with Simulink® and SimPowerSystems™, 2013.
4. John J. Grainger & William D. Jr Stevenson, Power System Analysis, 1994.

PERCOBAAN 3

ANALISIS ALIRAN DAYA LANJUT (ADVANCED LOAD FLOW ANALYSIS)

3.1 Tujuan

Setelah melakukan modul ini, praktikan diharapkan mampu:

- ✓ Memahami konsep aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik
- ✓ Melakukan analisis terhadap perubahan-perubahan aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik dengan menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB
- ✓ Melakukan penanggulangan terhadap perubahan-perubahan aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik dengan menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB

3.2 Teori Pendahuluan

Studi aliran daya adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya dan tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik dan menganalisa kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Apabila terjadi perubahan pada sistem, akan memungkinkan terjadinya kondisi-kondisi sebagai berikut:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| a. Kondisi <i>undervoltage</i> | c. Kondisi <i>voltage drop</i> |
| b. Kondisi <i>overvoltage</i> | d. Kondisi <i>overload</i> |

Cara-cara memperbaiki kondisi-kondisi seperti di atas:

- Penambahan Bank Kapasitor
- Penambahan Reaktor Shunt
- Penambahan Jalur Transmisi
- Mengubah Tapping pada Transformator
- Mekanisme Load Shedding

Perkembangan pengetahuan di bidang sistem tenaga listrik saat ini memungkinkan untuk meningkatkan kemampuan beban (*loadability*) dan keamanan sistem dengan menempatkan bank kapasitor pada saat beban tinggi atau menempatkan reaktor shunt saat beban ringan. Dalam suatu sistem jaringan tenaga listrik, bank kapasitor digunakan secara luas untuk memenuhi kekurangan daya reaktif, mengurangi rugi-rugi energi, mengatur tegangan, dan meningkatkan keamanan operasi sistem. Perubahan tap transformator digunakan untuk mengatur aliran daya pada transmisi dengan menambah tegangan antara sisi pembangkit dengan sisi beban. Reaktor shunt yang dipasang pada sistem tegangan tinggi digunakan untuk menjaga tegangan pada saat beban ringan, karena pada saat sistem kehilangan beban atau beban menjadi ringan reaktansi saluran yang dialiri arus akan menjadi sumber daya reaktif sehingga tegangan akan naik. Dengan terpasangnya reaktor shunt, daya reaktif akan diserap oleh reaktor sehingga level tegangan dapat dipertahankan.

3.3 Tugas Pendahuluan

1. Jelaskan masing-masing istilah di bawah, dan pengaruhnya masing-masing di dalam sistem:
 - a. Capacitor Bank
 - b. Shunt Reactor
 - c. Tap-Changing Transformer
 - d. Load-Shedding
2. Undervoltage
 - a. Pada batas apakah sebuah bus dapat disebut mengalami kondisi *undervoltage*?
 - b. Apa pengaruh kondisi *undervoltage* terhadap komponen pada bus tersebut?
 - c. Dari hasil percobaan praktikum yang lalu, pada kejadian perubahan kondisi sistem apa sajakah terjadi kondisi *undervoltage*? Sebutkan dan jelaskan masing-masing penyebab serta akibatnya!
 - d. Langkah apa saja yang layak dilakukan untuk masing-masing kejadian perubahan kondisi sistem tersebut, untuk meminimalisasi/menanggulangi kejadian *overvoltage*?
3. Overvoltage
 - a. Pada batas apakah sebuah bus dapat disebut mengalami kondisi *overvoltage*?
 - b. Apa pengaruh kondisi *overvoltage* terhadap komponen pada bus tersebut?
 - c. Dari hasil percobaan praktikum yang lalu, pada kejadian perubahan kondisi sistem apa sajakah terjadi kondisi *overvoltage*? Sebutkan dan jelaskan masing-masing penyebab serta akibatnya!
 - d. Langkah apa saja yang layak dilakukan untuk masing-masing kejadian perubahan kondisi sistem tersebut, untuk meminimalisasi/menanggulangi kejadian *overvoltage*?

4. Voltage Drop

- a. Dari hasil percobaan praktikum yang lalu, pada kejadian perubahan kondisi sistem apa sajakah terjadi kondisi *Voltage Drop*? Sebutkan dan jelaskan masing-masing penyebab serta akibatnya!
- b. Untuk kondisi line yang mengalami *Voltage Drop*, langkah apa yang sewajarnya dilakukan untuk menanggulangi kejadian tersebut?

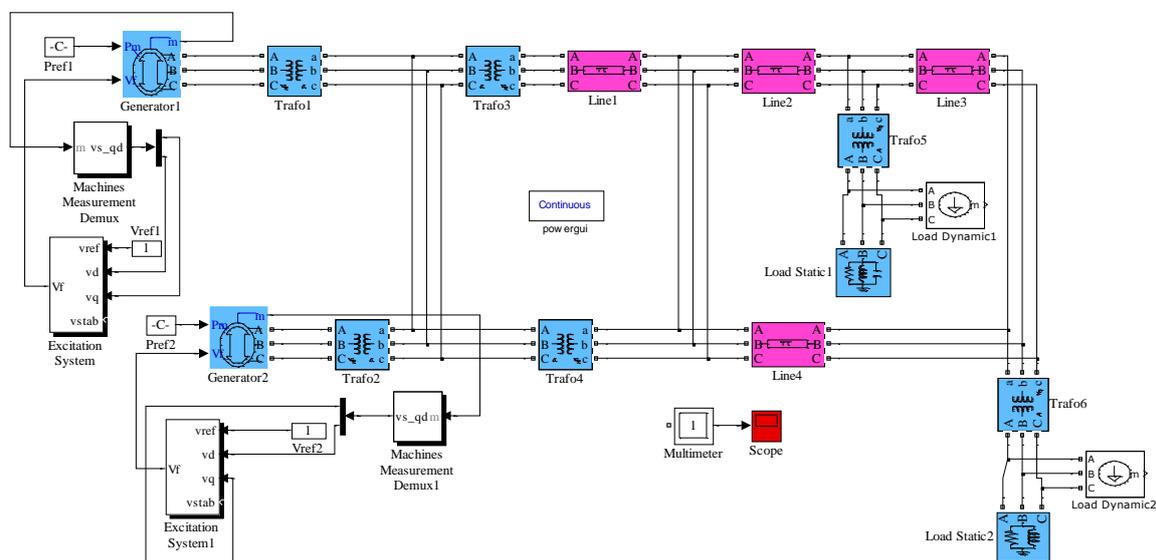
5. Overload

- a. Dari hasil percobaan praktikum yang lalu, pada kejadian perubahan kondisi sistem apa sajakah terjadi kondisi *Overload*? Sebutkan dan jelaskan masing-masing penyebab serta akibatnya!
- b. Langkah apa saja yang layak dilakukan untuk masing-masing kejadian perubahan kondisi sistem tersebut, untuk meminimalisasi/menanggulangi kejadian *Overload*?

3.4 Prosedur Praktikum

3.4.1 Pembuatan & Simulasi Rangkaian Aliran Daya

- a. Buat rangkaian aliran daya seperti rangkaian Modul 2 pada SimPowerSystems™. Gunakan parameter yang sama.



- b. Simulasikan rangkaian tersebut.
- c. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar. Parameter tersebut dapat diperoleh dari powergui (klik dua kali) dengan mengakses menu load flow and machine initialization.

3.4.2 Penambahan Bank Kapasitor (*Capacitor Bank*)

- a. Tambahkan komponen kapasitor pada busbar beban 1. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- b. Tambahkan komponen kapasitor pada busbar beban 2. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.

3.4.3 Penambahan Reaktor Shunt

- a. Tambahkan komponen induktor pada busbar setelah trafo 1. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- b. Tambahkan komponen induktor pada busbar beban 1. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- c. Tambahkan komponen induktor pada busbar beban 2. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.

3.4.4 Penambahan Jalur Transmisi (*Line Transmission*)

- a. Tambahkan komponen line yang dipasang secara parallel pada line 1. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- b. Tambahkan komponen line yang dipasang secara parallel pada line 2 dan line 3. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- c. Tambahkan komponen line yang dipasang secara parallel pada line 2, line 3 dan line 4. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- d. Tambahkan komponen line yang dipasang secara parallel pada line 1, 2, 3, dan 4. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.

3.4.5 Mengubah Tapping pada Transformator

- a. Ubah nilai tapping pada trafo 3 dan trafo 4. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.
- b. Ubah nilai tapping pada trafo 5 dan trafo 6. Catat parameter-parameter (tegangan, sudut tegangan, daya aktif, dan daya reaktif) pada setiap titik busbar.

3.5 Pertanyaan

1. Pada saat rangkaian awal, berapa nilai pu dari tegangan pada busbar beban! Kondisi apakah yang terjadi? (undervoltage atau overvoltage atau voltage drop)
2. Pada saat penambahan bank kapasitor, apa yang terjadi pada busbar beban? Jelaskan analisisnya!
3. Pada saat penambahan reactor shunt, apa yang terjadi pada busbar beban? Jelaskan analisisnya!
4. Pada saat penambahan jalur transmisi, apa yang terjadi pada busbar beban? Jelaskan analisisnya!
5. Pada saat perubahan tapping pada transformator, apa yang terjadi pada busbar beban? Jelaskan analisisnya!
6. Apabila busbar beban mengalami undervoltage, bagaimana cara menanggulangi kondisi tersebut? Jelaskan!
7. Apabila busbar beban mengalami overvoltage, bagaimana cara menanggulangi kondisi tersebut? Jelaskan!
8. Jelaskan bagaimana cara mendapatkan nilai kapasitansi yang dibutuhkan untuk bank kapasitor apabila beban mengalami kondisi undervoltage! Jelaskan hubungan besar kapasitansi dengan perubahan nilai tegangan pada beban!

3.6 References

1. Mathworks, *SimPowerSystems™, User's Guide*, 2004–2011.
2. Mathworks, *Control System Toolbox™, User's Guide*, 2004–2011.
3. Viktor M. Perelmuter, *Electrotechnical Systems, Simulation with Simulink® and SimPowerSystems™*, 2013.
4. John J. Grainger & William D. Jr Stevenson, *Power System Analysis*, 1994.

PERCOBAAN 4

ANALISIS HUBUNG SINGKAT

4.1 Tujuan

Setelah melakukan modul ini, praktikan diharapkan mampu melakukan analisis terhadap hubung singkat pada suatu sistem tenaga listrik dengan menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB.

4.2 Teori Pendahuluan

Studi hubung singkat dilakukan untuk mengetahui besar arus-arus yang mengalir melalui saluran-saluran pada sistem tenaga di dalam interval waktu tertentu ketika sebuah gangguan hubung singkat terjadi. Besar arus-arus yang mengalir melalui saluran-saluran pada sistem tenaga pada saat sebuah gangguan hubung singkat terjadi akan berubah terhadap waktu sampai dengan besar arus tersebut mencapai kondisi mantapnya. Pada interval waktu inilah sistem proteksi harus dirancang untuk dapat mendeteksi, memutus dan mengisolasi gangguan-gangguan tersebut. Ada bermacam-macam gangguan yang dapat terjadi pada sistem, baik tipe gangguannya, maupun lokasi gangguan.

Hubung singkat simetris adalah gangguan hubung singkat yang terjadi melibatkan keseluruhan 3 fasa yang ada pada sistem. Sedangkan hubung singkat tak simetris adalah gangguan hubung singkat yang terjadi tidak melibatkan keseluruhan 3 fasa pada suatu sistem. Analisis gangguan hubung singkat tak simetris dilakukan untuk mengetahui besar arus yang mengalir melalui saluran-saluran pada suatu sistem tenaga pada saat terjadi gangguan hubung singkat.

Termasuk ke dalam gangguan hubung singkat tak simetris ini adalah:

- Gangguan hubung singkat fasa-ke-fasa;
- Gangguan hubung singkat dua-fasa-ke-tanah;
- Gangguan hubung singkat satu-fasa-ke-tanah.

4.3 Tugas Pendahuluan

1. Jelaskan istilah kejadian di bawah ini, lengkap beserta sebab kejadian dan akibatnya!
 - a. *Short Circuit*
 - b. *Symmetrical Fault*
 - c. *Unsymmetrical Fault*
2. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis dari *Symmetrical Fault* dan *Unsymmetrical Fault*!

3. Apa yang diamati dari Studi Analisis *Short Circuit*, dan mengapa Studi tersebut perlu dilakukan?
4. Bagaimana cara menanggulangi kejadian *Short Circuit* yang terjadi pada suatu sistem tenaga?
5. Jelaskan cara kerja dan kegunaan dari komponen-komponen proteksi berikut ini:
 - *CB* (pada sistem tenaga listrik)
 - *Relay*
 - *Recloser*
 - *Fuse*
 - *LBS (Load Break Switch)*
 - *DS (Disconnecting Switch)*

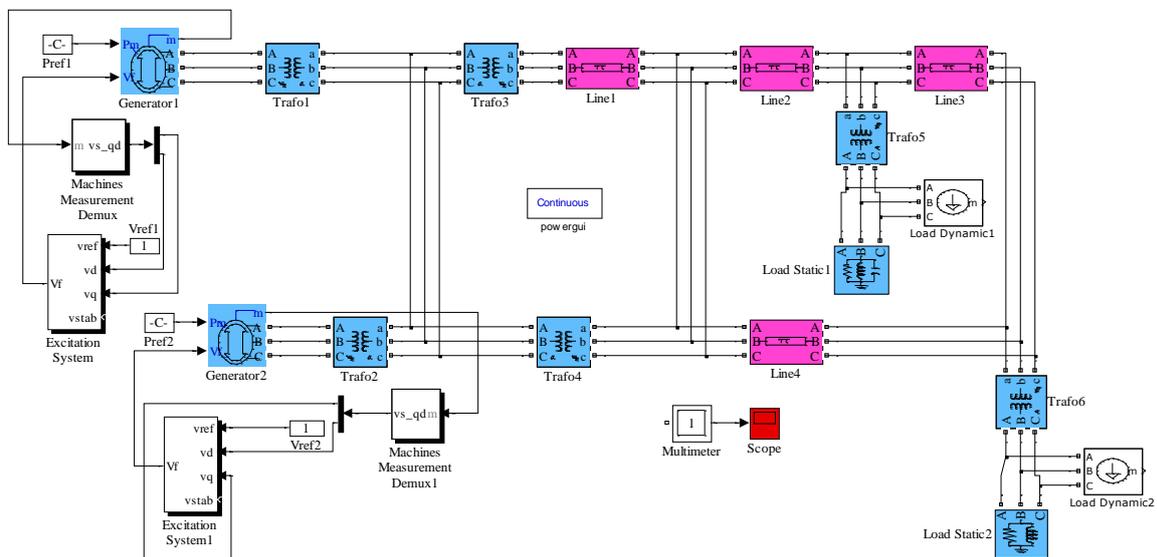
dan jelaskan hubungan komponen-komponen tersebut terhadap keadaan *Short Circuit* !

6. Bagaimanakah cara menghitung arus hubung singkat untuk keadaan *Symmetrical Fault* dan *Unsymmetrical Fault*?

4.4 Prosedur Praktikum

4.4.1 Pembuatan & Simulasi Rangkaian Aliran Daya

- a. Buat rangkaian aliran daya seperti rangkaian Modul 2 pada MATLAB.



- b. Tempatkan *CB* sebelum dan sesudah tiap komponen untuk mengisolasi gangguan apabila terjadi. Kondisikan agar pasangan *CB* yang mengapit suatu komponen akan beroperasi **HANYA** pada titik gangguan (dengan pengaturan switch tiap fasa).

Aturlah:

- Durasi fault: 0.5 s (atur pada komponen three phase fault). Fault terjadi pada detik 0.1 s hingga 0.6 s
 - CB (dengan initial condition: closed) bekerja pada detik 0.4 s (menjadi open circuit) hingga detik 1.3 s (short circuit kembali).
 - Total simulation time minimal 2 s.
 - CB yang beroperasi hanya pada titik gangguan
 - Powergui : phasor
 - Masuk menu 'Simulation' > 'Configuration Parameters' > ubah 'Solver': ode23tb (*Hal ini dilakukan karena penggunaan komponen CB menyebabkan perhitungan simulasi menjadi rumit apabila menggunakan solver ode45. Maka dari itu, digunakan solver ode23tb yang lebih sederhana tetapi kurang akurat dibanding ode45*)
- c. Simulasikan rangkaian tersebut.
- d. Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.

4.4.2 Hubung Singkat Simetris

- a. Tambahkan komponen FAULT 3 fasa pada busbar setelah trafo 1. Plot nilai arus pada FAULT (Ifault) dan nilai tegangan pada FAULT (Vfault). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- b. Tambahkan komponen FAULT 3 fasa pada busbar setelah trafo 4. Plot nilai arus pada FAULT (Ifault) dan nilai tegangan pada FAULT (Vfault). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- c. Tambahkan komponen FAULT 3 fasa pada busbar sebelum trafo 5. Plot nilai arus pada FAULT (Ifault) dan nilai tegangan pada FAULT (Vfault). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- d. Tambahkan komponen FAULT 3 fasa pada busbar sebelum trafo 6. Plot nilai arus pada FAULT (Ifault) dan nilai tegangan pada FAULT (Vfault). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.

4.4.3 Hubung Singkat Tak Simetris (2 fasa ke tanah)

- a. Tambahkan komponen FAULT 2 fasa ke tanah (fasa A dan B) pada busbar setelah trafo 1. Plot nilai arus pada FAULT (I_{fault}) dan nilai tegangan pada FAULT (V_{fault}). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- b. Tambahkan komponen FAULT 2 fasa ke tanah (fasa A dan B) pada busbar setelah trafo 4. Plot nilai arus pada FAULT (I_{fault}) dan nilai tegangan pada FAULT (V_{fault}). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- c. Tambahkan komponen FAULT 2 fasa ke tanah (fasa B dan C) pada busbar setelah trafo 1. Plot nilai arus pada FAULT (I_{fault}) dan nilai tegangan pada FAULT (V_{fault}). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- d. Tambahkan komponen FAULT 2 fasa ke tanah (fasa B dan C) pada busbar sebelum trafo 5. Plot nilai arus pada FAULT (I_{fault}) dan nilai tegangan pada FAULT (V_{fault}). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.

4.4.4 Hubung Singkat Tak Simetris (1 fasa ke tanah)

- a. Tambahkan komponen FAULT 1 fasa ke tanah (fasa A) pada busbar setelah trafo 1. Plot nilai arus pada FAULT (I_{fault}) dan nilai tegangan pada FAULT (V_{fault}). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- b. Tambahkan komponen FAULT 1 fasa ke tanah (fasa A) pada busbar setelah trafo 4. Plot nilai arus pada FAULT (I_{fault}) dan nilai tegangan pada FAULT (V_{fault}). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- c. Tambahkan komponen FAULT 1 fasa ke tanah (fasa B) pada busbar setelah trafo 1. Plot nilai arus pada FAULT (I_{fault}) dan nilai tegangan pada FAULT (V_{fault}). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.
- d. Tambahkan komponen FAULT 1 fasa ke tanah (fasa B) pada busbar sebelum trafo 5. Plot nilai arus pada FAULT (I_{fault}) dan nilai tegangan pada FAULT (V_{fault}). Plot nilai arus yang terjadi pada busbar beban 1, beban 2, generator 1 dan generator 2.

4.5 Pertanyaan

1. Apa yang terjadi pada sistem apabila sistem tersebut mengalami hubung singkat simetris?
2. Apa yang terjadi pada sistem apabila sistem tersebut mengalami hubung singkat tidak simetris?
3. Apa perbedaan hubung singkat simetris dengan hubung singkat tidak simetris pada sistem?
4. Bagaimana cara menghitung arus hubung singkat? Jelaskan dan bandingkan dengan hasil simulasi!

4.6 References

1. Mathworks, *SimPowerSystems™, User's Guide*, 2004–2011.
2. Mathworks, *Control System Toolbox™, User's Guide*, 2004–2011.
3. Viktor M. Perelmuter, *Electrotechnical Systems, Simulation with Simulink® and SimPowerSystems™*, 2013.
4. John J. Grainger & William D. Jr Stevenson, *Power System Analysis*, 1994.

PERCOBAAN 5

TUGAS BESAR

5.1 Tujuan

Setelah melakukan modul ini, praktikan diharapkan mampu melakukan perancangan suatu sistem tenaga listrik pada suatu kota berdasarkan informasi yang telah didapatkan dan mensimulasikannya dengan menggunakan SimPowerSystems™ dan Simulink® pada MATLAB.

5.2 Tugas Pendahuluan

1. Jelaskan perbedaan antara beban dasar dan beban puncak! Apakah terdapat perbedaan tarif listrik?
2. Jelaskan perbedaan tarif dasar listrik untuk beberapa kelas pelanggan (rumah tangga, industri, komersil, dll)! Apa yang membedakan tarif tsb.?
3. Hal apa saja yang perlu diketahui dalam perencanaan sebuah sistem tenaga listrik? (sebutkan dan jelaskan secara singkat!)
4. Apakah aspek teknis terkait standar komponen yang tersedia di pasaran perlu diperhatikan dalam perancangan sebuah sistem tenaga listrik?

5.3 Informasi

Tugas Besar dikerjakan secara berkelompok. Bagi setiap rombongan menjadi 2 kelompok. 1 kelompok mengerjakan soal tipe A dan 1 kelompok lainnya mengerjakan soal tipe B. Lama pengerjaan akan diberitahukan ketika pengarahannya modul 5 pada akhir modul 4. Kumpulkan dalam bentuk laporan dan presentasikan dalam bentuk power point kepada asisten.

Hal yang perlu dibawa ketika presentasi:

1. Laporan tugas besar
Format laporan terdiri dari: abstraksi, pendahuluan, dasar teori, perancangan sistem, hasil dan analisis, kesimpulan dan saran, serta daftar pustaka. Lengkapi analisis Anda dengan sumber referensi lain dan cantumkan sumber referensi. Sertakan pula dasar teori yang digunakan pada penulisan. Lampirkan jadwal pertemuan dan pembahasan tugas, daftar hadir anggota kelompok pada setiap pertemuan dan deskripsi tugas yang dikerjakan setiap anggota kelompok (logbook).
2. Paper tugas besar
Paper dibuat berdasarkan standar IEEE dengan jumlah halaman maksimal 6 halaman berisi ringkasan dengan menggunakan bahasa Inggris.

3. Powerpoint tugas besar

Powerpoint berisi slide yang akan digunakan untuk presentasi.

4. Semua softcopy dalam 1 folder

Softcopy yang dikumpulkan: file simulasi Simulink MATLAB, laporan, paper, ppt dan file tambahan evaluasi.

Seluruh anggota kelompok harus berkontribusi di dalam pengerjaan tugas besar ini!

5.4 Soal Tugas Besar (Tipe A)

Kota A memiliki jumlah beban yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Beban Rumah Tangga (Tegangan 380 V)

Asumsikan bahwa masing2 peralatan pada jenis beban di bawah ini digunakan secara konstan pada rentang waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00). Contoh: Semua Lampu digunakan pada rentang pukul 17.00-22.00 dan rentang pukul 22.00-05.00, tapi tidak pada rentang waktu 17.00-22.00.

	Jumlah Pelanggan (KK)	Televisi (60W)	Lampu (35W)	Kulkas (200W)	AC (220W)	Dispenser (50W)	Pemanas Air (100W)	PC (150W)
Beban RT-1	40,000	1	3	0	0	1	0	0
Beban RT-2	115,000	2	5	1	0	1	0	0
Beban RT-3	75,000	2	10	1	0	1	1	1
Beban RT-4	25,000	3	15	1	1	2	1	2
Beban RT-5	15,000	4	20	2	3	3	2	3

2. Beban Industri 24 jam, Beban Komersial (Tegangan 20 kV)

Rentang penggunaan beban komersial seperti beban Rumah Tangga, yaitu pada waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00).

	Jumlah Pelanggan	Daya (VA)
Industri Kecil (2200 VA)	3000	2,200
Industri Sedang (50 kVA)	1000	50,000
Industri Besar (200 kVA)	50	200,000
UKM (1300 VA)	5000	1,300
Restoran - Toko (5 kVA)	1000	5,000
Mall dan Hotel (50 kVA)	20	50,000

3. Beban Prioritas (Tegangan 20kV) 24 jam

	Jumlah Pelanggan	Daya (VA)
Rumah Sakit (50 kVA)	20	50,000
Pusat Server Data (5 kVA)	5	5,000
Kantor Lembaga Negara (100 kVA)	10	100,000
Istana Negara (1 MVA)	1	1,000,000
Pangkalan Militer (750 kVA)	3	750,000

4. Beban Publik dan Sosial (Tegangan 380 V)

Rentang penggunaan beban publik dan sosial seperti beban Rumah Tangga, yaitu pada waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00).

	Jumlah Pelanggan	Daya (VA)
Rumah Ibadah (6600 VA)	200	6600
Sekolah dan Universitas (10 kVA)	100	10000
Penerangan Jalan Umum (100 W)	20000	100

Jenis Pembangkit yang terdapat pada kota tersebut:

1. PLTP berfungsi sebagai generator Swing, digunakan sepanjang hari, kapasitas maksimalnya sebesar 80% kapasitas daya PLTU.
2. PLTU digunakan sepanjang hari, berfungsi sebagai generator PV, kapasitasnya tidak dapat diubah.
3. PLTA hanya menyuplai beban malam hari, kapasitas maksimalnya sebesar 30% kapasitas daya PLTU, berfungsi sebagai generator Swing.
4. PLTB (angin), memiliki kapasitas maksimal sebesar 10% kapasitas PLTU, hanya menyuplai beban malam hari, berfungsi sebagai generator PV.

Batasan-batasan yang harus dipenuhi:

1. Kota terbagi menjadi 4 Region berdasarkan jenis bebannya.
2. Kota memiliki 4 gardu yang masing-masing terhubung dengan setiap region beban.
Gardu 1 terhubung dengan beban 1. Gardu 2 terhubung dengan beban 2. Gardu 3 terhubung dengan beban 3. Gardu 4 terhubung dengan beban 4.

Tegangan keluaran untuk semua gardu adalah 20 kV.

Jarak antar gardu:

- Jarak Antara Gardu 1 - 2 = 20 km

- Jarak Antara Gardu 1 - 4 = 20 km
- Jarak Antara Gardu 2 - 4 = 20 km
- Jarak Gardu 1/2/4 - 3 = 5 km

Tegangan Line nya 70 kV.

3. Jarak gardu dengan pembangkit:
 - a. Jarak Antara Gardu 1 - PLTP = 100km
 - b. Jarak Antara Gardu 2 - PLTU = 100km
 - c. Jarak Antara Gardu 3 - PLTA = 50km
 - d. Jarak Antara Gardu 4 - PLTB = 20km
4. Setiap Beban dengan $V=380$ V, memiliki jarak 3km dari gardu awal Tegangan 20kV.
5. Setiap Beban dengan $V=20$ kV, diasumsikan tidak berjarak dari Gardu awal Tegangan 20kV.
6. Untuk Beban 1,3,4 = $V \text{ min } 0.96$ pu.
7. Untuk Beban 2 = $V \text{ min } 0.98$ pu dengan $PF > 0.85$.
8. Boleh menempatkan Capacitor Bank pada Jaringan Tegangan 20 kV

5.5 Pertanyaan (Tipe A)

1. Desain Jadwal Seluruh Beban untuk rentang waktu 05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00 !
2. Desain Jadwal Penggunaan Pembangkit untuk tiap rentang waktu, dengan memanfaatkan studi Load Flow ! (Perhatikan batasan-batasan yang harus dipenuhi)
3. Tentukan Kapasitas masing-masing Line dan Trafo untuk menunjang sistem Tenaga Elektrik kota A ini !
4. Pada kasus darurat, yaitu hanya beban Prioritas yang disupply, bagaimana Desain minimal Penggunaan Pembangkit anda?
5. Beban Prioritas disupply oleh 3 Line yang berbeda dari Gardu yang berlainan. Bagaimana Desain Line dan Trafo pada setiap Feeder tersebut, apabila ada kemungkinan 2 dari 3 Line tersebut putus?
6. Analisis Simulasi Symmetrical Fault pada kasus tersebut!
7. Beban Rumah Tangga RT-1, RT-2, dan RT-3, beban Rumah Ibadah, beban Penerangan Jalan Umum, mampu disuplai secara mandiri oleh Pembangkit Tambahan dari Tenaga Surya (PLTS). Bagaimanakah Desain Kapasitas Pembangkit lainnya untuk mensuplai seluruh beban yang tersisa?
8. Beban Rumah Tangga RT-4, dan RT-5, beban Sekolah dan Universitas, seluruh beban Industri, pada kondisi darurat harus mampu disuplai oleh Genset Pribadi masing-masing. Bagaimanakah Desain Kapasitas Pembangkit lainnya untuk mensuplai seluruh beban yang tersisa?
9. Kasus no 7 dan Kasus no 8 dapat terjadi secara bersamaan, Bagaimanakah Desain Kapasitas Pembangkit lainnya untuk mensuplai seluruh beban yang tersisa?

5.6 Soal Tugas Besar (Tipe B)

Kota B memiliki jumlah beban yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Beban Rumah Tangga (Tegangan 380 V)

Asumsikan bahwa masing2 peralatan pada jenis beban di bawah ini digunakan secara konstan pada rentang waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00). Contoh: Misalkan semua Lampu digunakan pada rentang pukul 17.00-22.00 dan rentang pukul 22.00-05.00, tapi tidak pada rentang waktu 17.00-22.00. Perbandingan beban pada RT-1 : RT-2 : RT-3 : RT-4 : RT-5 = 4 : 8 : 12 : 2 : 1.

	Televisi (60W)	Lampu (35W)	Kulkas (200W)	AC (220W)	Dispenser (50W)	Pemanas Air (100W)	PC (150W)
Beban RT-1	1	3	0	0	1	0	0
Beban RT-2	2	5	1	0	1	0	0
Beban RT-3	2	10	1	0	1	1	1
Beban RT-4	3	15	1	1	2	1	2
Beban RT-5	4	20	2	3	3	2	3

2. Beban Industri 24 jam, Beban Komersial (Tegangan 20 kV)

Rentang penggunaan beban komersial seperti beban Rumah Tangga, yaitu pada waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00).

	Jumlah Pelanggan	Daya (VA)
Industri Kecil (2200 VA)	3000	2,200
Industri Sedang (50 kVA)	1000	50,000
Industri Besar (200 kVA)	50	200,000
UKM (1300 VA)	5000	1,300
Restoran - Toko (5 kVA)	1000	5,000
Mall dan Hotel (50 kVA)	20	50,000

3. Beban Prioritas (Tegangan 20kV) 24 jam

	Jumlah Pelanggan	Daya (VA)
Rumah Sakit (50 kVA)	20	50,000
Pusat Server Data (5 kVA)	5	5,000
Kantor Lembaga Negara (100 kVA)	10	100,000
Istana Negara (1 MVA)	1	1,000,000
Pangkalan Militer (750 kVA)	3	750,000

4. Beban Publik dan Sosial (Tegangan 380 V)

Rentang penggunaan beban publik dan sosial seperti beban Rumah Tangga, yaitu pada waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00).

	Jumlah Pelanggan	Daya (VA)
Rumah Ibadah (6600 VA)	200	6600
Sekolah dan Universitas (10 kVA)	100	10000
Penerangan Jalan Umum (100 W)	20000	100

Jenis Pembangkit yang terdapat pada kota tersebut:

1. PLTP berfungsi sebagai generator Swing, digunakan sepanjang hari, kapasitas maksimalnya sebesar 80% kapasitas daya PLTU.
2. PLTU digunakan sepanjang hari, berfungsi sebagai generator PV, kapasitasnya tidak dapat diubah, besar kapasitas PLTU adalah 100 MW.
3. PLTA hanya menyuplai beban malam hari, kapasitas maksimalnya sebesar 30% kapasitas daya PLTU, berfungsi sebagai generator Swing.
4. PLTB (angin), memiliki kapasitas maksimal sebesar 10% kapasitas PLTU, hanya menyuplai beban malam hari, berfungsi sebagai generator PV.

Batasan-batasan yang harus dipenuhi:

1. Kota terbagi menjadi 4 Region berdasarkan jenis bebannya.
2. Kota memiliki 4 gardu yang masing-masing terhubung dengan setiap region beban.
Gardu 1 terhubung dengan beban 1. Gardu 2 terhubung dengan beban 2. Gardu 3 terhubung dengan beban 3. Gardu 4 terhubung dengan beban 4.

Tegangan keluaran untuk semua gardu adalah 20 kV.

Jarak antar gardu:

- Jarak Antara Gardu 1 - 2 = 20 km
- Jarak Antara Gardu 1 - 4 = 20 km
- Jarak Antara Gardu 2 - 4 = 20 km
- Jarak Gardu 1/2/4 - 3 = 5 km

Tegangan Line nya 70 kV.

3. Jarak gardu dengan pembangkit:
 - a. Jarak Antara Gardu 1 - PLTP = 100km
 - b. Jarak Antara Gardu 2 - PLTU = 100km
 - c. Jarak Antara Gardu 3 - PLTA = 50km

- d. Jarak Antara Gardu 4 - PLTB = 20km
4. Setiap Beban dengan $V=380$ V, memiliki jarak 3km dari gardu awal Tegangan 20kV.
5. Setiap Beban dengan $V=20$ kV, diasumsikan tidak berjarak dari Gardu awal Tegangan 20kV.
6. Untuk Beban 1,3,4 = $V \text{ min } 0,96$ pu.
7. Untuk Beban 2 = $V \text{ min } 0,98$ pu dengan $PF > 0.85$.
8. Boleh menempatkan Capacitor Bank pada Jaringan Tegangan 20 kV.

5.7 Pertanyaan (Tipe B)

1. Perkirakan Berapa Jumlah KK Beban RT, dengan memanfaatkan Studi Load Flow ! (Perhatikan batasan - batasan yang harus dipenuhi)
2. Desain Jadwal Seluruh Beban untuk rentang waktu 05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00 !
3. Tentukan Kapasitas masing-masing Line dan Trafo untuk menunjang sistem Tenaga Elektrik kota B ini !

(Gunakan data jumlah KK Beban RT ini untuk menjawab soal-soal berikutnya)

4. Pada kasus darurat, yaitu hanya beban Prioritas yang disupply, bagaimana Desain minimal Penggunaan Pembangkit anda?
5. Beban Prioritas disupply oleh 3 Line yang berbeda dari Gardu yang berlainan. Bagaimana Desain Line dan Trafo pada setiap Feeder tersebut, apabila ada kemungkinan 2 dari 3 Line tersebut putus?
6. Analisis Simulasi Symmetrical Fault pada kasus tersebut!
7. Beban Rumah Tangga RT-1, RT-2, dan RT-3, beban Rumah Ibadah, beban Penerangan Jalan Umum, mampu disuplai secara mandiri oleh Pembangkit Tambahan dari Tenaga Surya (PLTS). Bagaimanakah Desain Kapasitas Pembangkit lainnya untuk mensuplai seluruh beban yang tersisa?
8. Beban Rumah Tangga RT-4, dan RT-5, beban Sekolah dan Universitas, seluruh beban Industri, pada kondisi darurat harus mampu disuplai oleh Genset Pribadi masing-masing. Bagaimanakah Desain Kapasitas Pembangkit lainnya untuk mensuplai seluruh beban yang tersisa?
9. Kasus no 7 dan Kasus no 8 dapat terjadi secara bersamaan, Bagaimanakah Desain Kapasitas Pembangkit lainnya untuk mensuplai seluruh beban yang tersisa?

5.8 Tambahan

Kumpulkan pada file / lembar terpisah

1. Tulislah kritik dan saran yang membangun, untuk Mata Kuliah Praktikum Sistem Tenaga Elektrik!

2. Tulislah evaluasi, kritik dan saran kepada diri kalian masing-masing, setelah mendapatkan Mata Kuliah Praktikum Sistem Tenaga Elektrik!

5.9 References

1. Mathworks, *SimPowerSystems™, User's Guide*, 2004–2011.
2. Viktor M. Perelmuter, *Electrotechnical Systems, Simulation with Simulink® and SimPowerSystems™*, 2013.
3. John J. Grainger & William D. Jr Stevenson, *Power System Analysis*, 1994.