

# LABORATORIUM SISTEM TENAGA LISTRIK



## MODUL PRAKTIKUM Revisi 2.0 SISTEM TENAGA LISTRIK



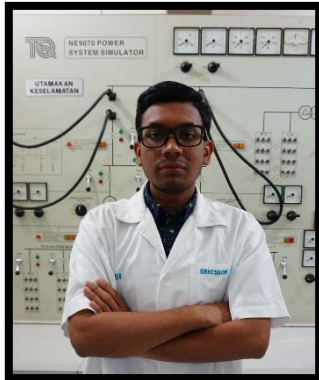
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA

2017

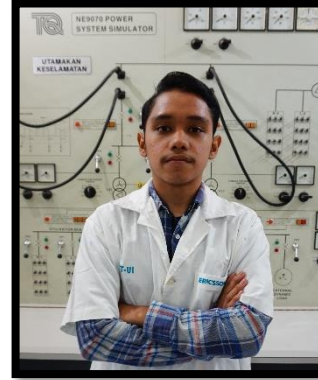
## **Daftar Isi**

Daftar Isi .....	2
Profil Asisten .....	3
Tata Tertib Pelaksanaan Praktikum Sistem Tenaga Listrik .....	4
MODUL I.....	7
MODUL II .....	8
MODUL III.....	12
MODUL IV.....	15
MODUL V .....	24
MODUL VI.....	29
MODUL VII .....	33
MODUL VIII.....	39
MODUL IX.....	42
MODUL X.....	48

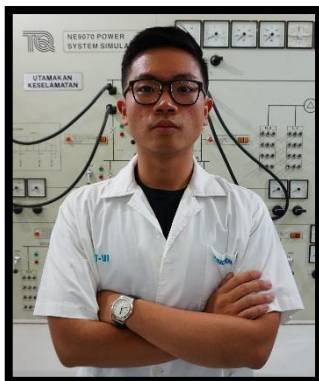
## Profil Asisten



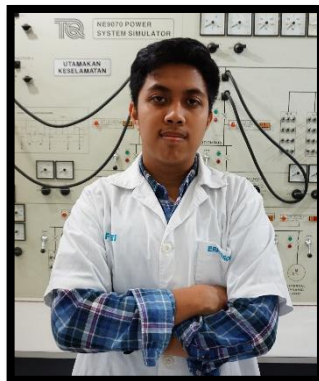
**FERRY RIVALDY**  
[rivaldy.ferry@gmail.com](mailto:rivaldy.ferry@gmail.com)  
0853-7132-0147



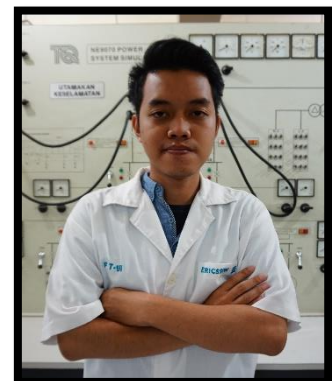
**GURU PAMOSIK WIBOWO**  
[gurupw@gmail.com](mailto:gurupw@gmail.com)  
0812-8785-3867



**ANDREW MICHAEL**  
[andrewmichaelxvii@gmail.com](mailto:andrewmichaelxvii@gmail.com)  
0819-4905-0000



**MUHAMMAD RISYAD**  
[mrisyad84@gmail.com](mailto:mrisyad84@gmail.com)  
0858-1764-5812



**PATRIA MAULUDDIN**  
[mauluddinpatria@gmail.com](mailto:mauluddinpatria@gmail.com)  
0822-1728-8001

## Tata Tertib Pelaksanaan Praktikum Sistem Tenaga Listrik

1. Praktikan harus berpakaian rapi, memakai sepatu, kemeja atau kaos berkerah (**tidak boleh memakai kaos tanpa kerah**).
2. Praktikan harus mempersiapkan diri untuk mengikuti praktikum termasuk **mengerjakan tugas pendahuluan** dan **mempelajari materi praktikum** .
3. Tugas pendahuluan dapat dilihat di <http://stlftui.wordpress.com> paling lambat jam 18.00 sehari sebelum praktikum, untuk tiap modul praktikum.
4. Praktikan diharapkan **hadir 10 menit sebelum** praktikum dimulai.
5. Praktikan yang tidak membawa kartu praktikum tidak diperbolehkan mengikuti praktikum. Praktikan **dilarang** menghilangkan kartu praktikum.
6. Toleransi keterlambatan yaitu 15 menit.
7. Praktikan yang datang terlambat lebih dari 15 menit **diperbolehkan** mengikuti praktikum, namun **nilai praktikum 0**.
8. Jika pada saat tes pendahuluan pratikan tidak memahami materi maka asisten berwenang untuk memindahkan jadwal. Apabila sudah dipindahkan jadwal dan praktikan masih dinilai tidak memahami materi maka nilai **modul tersebut tidak ada**.
9. Praktikan dilarang menggunakan alat tanpa seizin asisten dan memperhatikan K3L selama praktikum.
10. Praktikan harus ikut menjaga kebersihan laboratorium dan tidak boleh membawa makanan / minuman ke dalam ruang praktikum.
11. Praktikan harus mengisi daftar hadir praktikum.
12. Praktikan hanya boleh meninggalkan ruang laboratorium setelah diizinkan asisten.
13. Praktikan **WAJIB** membuat **tugas tambahan dan menyerahkan sendiri** tugas tambahan yang diberikan.
14. Tugas tambahan ditulis dengan **tulisan tangan pada kertas A4** dan dilampirkan pada laporan. Kerapian termasuk dalam penilaian
15. Waktu pengumpulan laporan dan tugas tambahan adalah **2 x 24 jam** setelah praktikum. Tidak ada toleransi keterlambatan. Dikumpulkan di Lab STL dengan mengisi daftar pengumpulan tugas.
16. Bagi praktikan yang mendapat jadwal hari **Kamis**, pengumpulan tugas tambahan terakhir adalah hari **Sabtu pukul 12.00 WIB** dengan berkoordinasi dengan asisten yang

bertanggung jawab dan untuk peserta yang mendapat jadwal hari **Jum'at**, pengumpulan tugas tambahan terakhir pada hari **Senin maksimal jam 08.05 pagi** di Laboratorium.

17. Tugas tambahan yang diserahkan melebihi batas waktu penyerahan tidak diterima, dan pada modul tersebut maka praktikan dinyatakan **gagal**.

18. Bobot penilaian Praktikum Sistem Tenaga Listrik adalah sebagai berikut :

- Dasar Teori = 20%
- Analisis = 25%
- Tugas Tambahan = 10%
- Kedisiplinan = 5%
- Tugas Pendahuluan = 10%
- Kemampuan Materi = 20%
- Kemampuan Praktikum = 10%

19. Praktikum Sistem Tenaga Listrik terdiri atas modul-modul berikut :

- Modul 1 : Briefing dan Pretest Praktikum Sistem Tenaga Listrik 2017.
- Modul 2 : Dasar Sistem Tenaga listrik dan Pengenalan Single Line Diagram Menggunakan Software ETAP 12.6.0
- Modul 3 : Analisis Aliran Daya Menggunakan Perangkat Lunak ETAP 12.6.
- Modul 4 : Analisis Hubung Singkat dengan Menggunakan Perangkat Lunak ETAP 12.6.
- Modul 5 : Analisis Starting Motor Induksi dengan Menggunakan Perangkat Lunak ETAP 12.6.
- Modul 6 : Perancangan dan Analisis Sistem Proteksi Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP 12.6.0.
- Modul 7 : Analisis Harmonik dan Perancangan Filter Harmonik Menggunakan Filter Harmonik.
- Modul 8 : Perancangan dan Analisis Grounding Sistem Menggunakan Software ETAP 12.6.0
- Modul 9 : Kestabilan Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak ETAP 12.6.0
- Modul 10 : Post Test

20. Jika ada yang berhalangan atau tidak dapat hadir pada praktikum, **WAJIB** konfirmasi ke Koordinator Praktikum maksimal 1 x 24 jam sebelum praktikum dimulai serta mencari praktikan pengganti.
  21. Praktikan wajib membawa satu (1) buah laptop yang sudah terinstall ETAP 12.6.0 tiap kelompoknya.
  22. Segala tindakan PLAGIARISME oleh praktikan berbuah sanksi berupa nilai dari laporan praktikan yang bersangkutan akan dibagi sesuai dengan jumlah orang yang bersangkutan.
  23. Peraturan lain yang tidak disebutkan dalam tata tertib ini akan diberitahukan kemudian.
- (Koordinator Praktikum : Guru Pamosik Wibowo – 081287853867 /line: gurupamosik)*

**Mengetahui,**

**Kepala Laboratorium**

**Sistem Tenaga Listrik**

**Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M. K., M.T.**

**NIP.196105071989031004**

## MODUL I

### BRIEFING PRAKTIKUM

Briefing Praktikum akan dilaksanakan pada tanggal 20 September 2017

Ruang K.102

Briefing bersifat **WAJIB**, bagi yang tidak dapat hadir diwajibkan menghubungi koordinator praktikum Guru Pamosik Wibowo E'14 (081287853867) paling lambat h-24 jam sebelum *briefing* dan wajib mengerjakan tugas pengganti *briefing*.

## MODUL II

### DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK DAN PENGENALAN SINGLE LINE DIAGRAM MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0

#### 1. Tujuan Percobaan

1. Mengetahui dan memahami pengertian dari sistem tenaga listrik.
2. Memahami fungsi dari subsistem-subsistem sistem tenaga listrik
3. Mempelajari fungsi ETAP dalam sistem tenaga listrik
4. Mempelajari cara membuat *single line diagram* dengan menggunakan ETAP

#### 2. Dasar Teori

##### A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan kesatuan sistem yang terdiri dari beberapa subsistem yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang beroperasi untuk mengirimkan daya ke konsumen.

Setiap subsistem mempunyai fungsi serta komponen yang berbeda-beda. Pembangkitan pada sistem tenaga listrik berfungsi membangkitkan tenaga listrik dengan mengubah energi (air, batu bara, panas bumi, minyak bumi, dll) menjadi energi listrik. Transmisi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkitan menuju pusat beban. Sedangkan distribusi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik menuju konsumen.

##### B. Perangkat Lunak ETAP 12.6.0

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (*single line diagram*) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian.

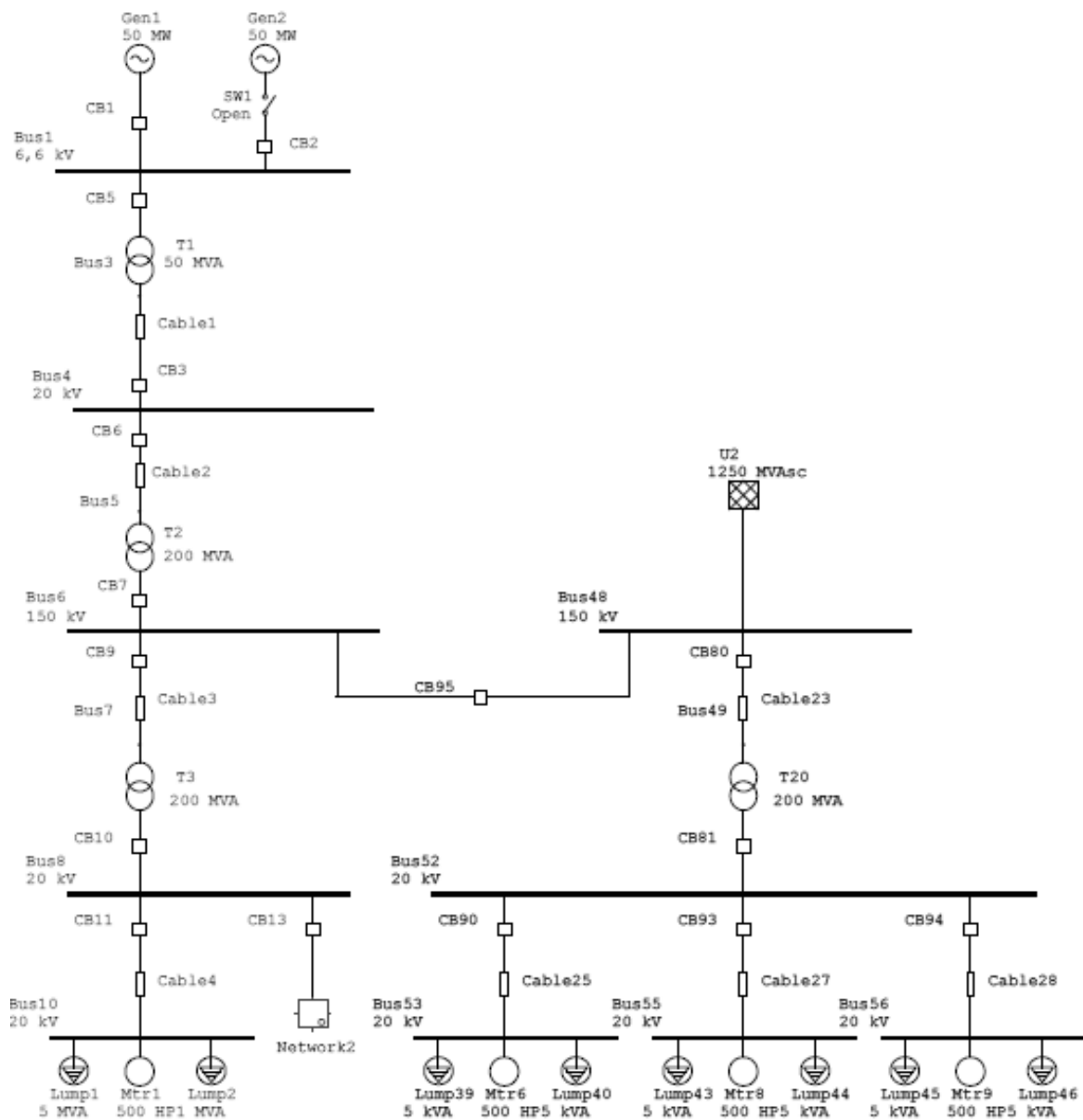


Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili. Beberapa elemen yang digunakan dalam suatu diagram saluran tunggal adalah Generator, Transformator, Pemutus Tenaga, dan lain-lain.

### 3. Prosedur Percobaan

#### A. Membuat Single Line Diagram

1. Buka *software ETAP 12.6.0*
2. Buka *file, new project*
3. Beri nama file sesuai yang diminta asisten
4. Susun rangkaian seperti gambar di bawah ini (Untuk cara merangkainya, perhatikan penjelasan dari asisten terlebih dahulu)

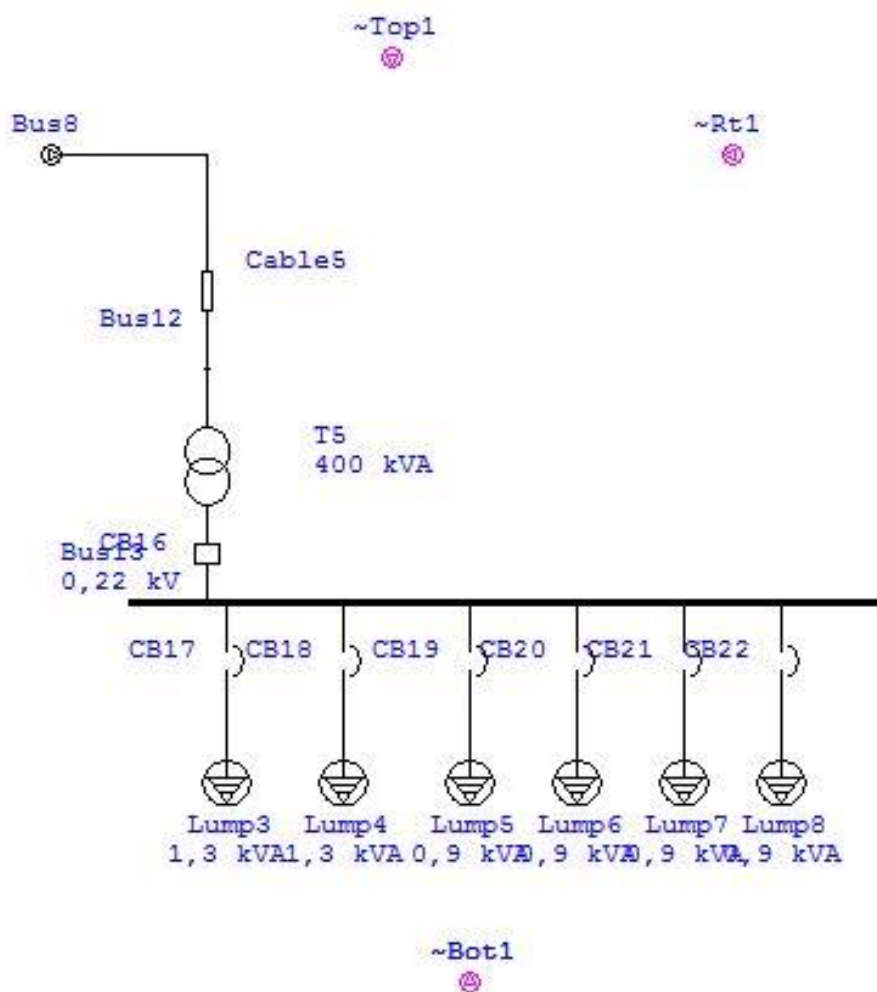


Gambar 1. Single Line Diagram

5. Masukkan setiap nilai atau rating elemen seperti yang tertera pada gambar.
6. Bila ada parameter elemen yang kurang jelas tanyakan pada asisten.
7. Bila sudah selesai, simpan file ke dalam folder yang lokasinya ditentukan oleh asisten.

### B. Membuat Composite Network

1. Buka *composite network* dari *single line diagram* yang telah dibuat
2. Tambahkan rangkaian elemen seperti gambar di bawah ini.



3. Bila ada parameter elemen yang kurang jelas tanyakan pada asisten.
4. Bila sudah selesai, praktikan boleh membuat rangkaian tambahan yang diberikan oleh asisten
5. Simpan file ke dalam folder yang lokasinya ditentukan oleh asisten.

## MODUL III

### ANALISA ALIRAN DAYA MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK

#### ETAP 12.6.0

##### 1. Tujuan Percobaan

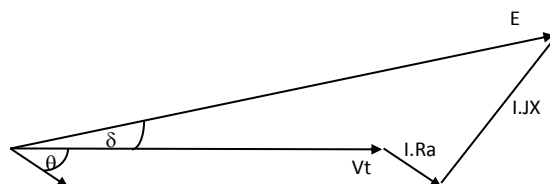
1. Mempelajari konsep aliran daya dalam sistem tenaga listrik.
2. Menganalisa masalah-masalah aliran daya pada sistem tenaga listrik dengan ETAP 12.6.0
3. Mempelajari *voltage drop* pada sisi penerima dan bagaimana mengkompensasi *voltage drop* tersebut
4. Mempelajari pengaruh beban, rugi-rugi transmisi terhadap karakteristik aliran daya.

##### 2. Dasar Teori

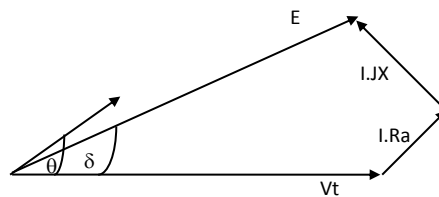
Aliran daya merupakan peristiwa mengalirnya daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari sisi pengirim (pembangkit) ke sisi penerima (beban). Analisis aliran daya digunakan untuk mengetahui kondisi sistem, sehingga dibutuhkan dalam perencanaan sistem untuk masa yang akan datang serta sebagai pertimbangan evaluasi terhadap sistem yang ada.

Besarnya daya yang disuplai generator meliputi daya real dan daya aktif (P dan Q), akan mengalami pengurangan setelah melalui transmisi dikarenakan adanya rugi-rugi transmisi.

Pengaruh variasi beban pada suatu sistem tenaga listrik berkaitan langsung dengan drop tegangan pada sisi penerima. Hal ini dapat dijelaskan dengan diagram vektor dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Vektor untuk Beban Induktif



Gambar 4. Diagram Vektor untuk Beban Kapasitif

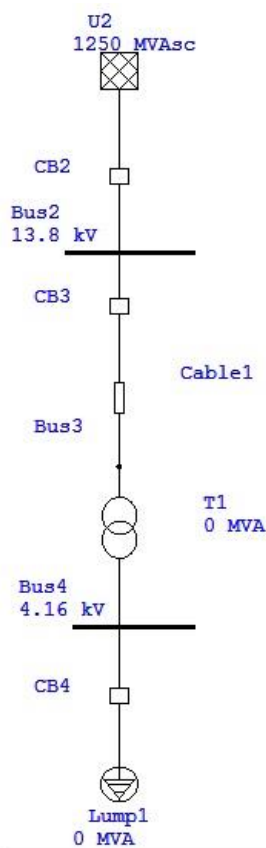
Untuk memperbaiki atau mengkompensasi drop tegangan agar tegangan pada sisi penerima di usahakan tetap maka ada beberapa cara yang dapat dilakukan seperti :

1. Penambahan kapasitor bank
2. Tranformer Tap Changing
3. Penambahan Eksitasi pada generator

### 3. Prosedur Percobaan

#### Percobaan 1

1. Buka *file, new project*
2. Beri nama file sesuai yang diminta asisten
3. Buat rangkaian seperti gambar berikut:



Gambar 5. Single Line Diagram

4. Masukkan rating sesuai data berikut:

U1 = 1250 MVA<sub>sc</sub>

Bus1 = 13.8 kV

Bus3 = 4.16 kV

Lump1 = 2.2 MVA (PF = 90 %)

Cable1 = 160 m

Buka *library*, *etaplib700.lib*, lalu pilih *size* = 16 mm<sup>2</sup>

T1 = 5 MVA

Masukkan nilai %Z dan X/R dengan mengklik *Typical Z & X/R*

5. Klik ikon *Load Flow Analysis* pada bagian *toolbar*
6. Klik ikon *Run Load Flow* pada bagian *sidebar*
7. Catat data yang terdapat pada Tabel 1, atur rasio *motor : static* pada *lump motor*
8. Tambahkan 6 *Bank Capacitor* masing-masing sebesar 150 kvar secara paralel terhadap *Bus2*
9. Catat data yang terdapat pada Tabel 2, atur juga rasio *motor : static* pada *lump motor*
10. Bila ada parameter elemen yang kurang jelas tanyakan pada asisten.
11. Bila sudah selesai, praktikan boleh membuat rangkaian tambahan yang diberikan oleh asisten
12. Simpan file ke dalam folder yang lokasinya ditentukan oleh asisten.

## MODUL IV

### ANALISIS HUBUNG SINGKAT DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0

#### 1. Tujuan Percobaan

1. Mengetahui dan mengerti pengertian dan jenis-jenis gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik.
2. Mempelajari karakteristik arus gangguan
3. Mempelajari simulasi gangguan pada ETAP 12.6.0
4. Mempelajari manfaat analisis gangguan

#### 2. Dasar Teori

Gangguan yang sering terjadi dan berbahaya bagi sistem tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat ini termasuk gangguan penghantar ketanah, hubung singkat diantara penghantar yang menyebabkan mengalirnya arus yang cukup besar melalui sistem tenaga listrik dan peralatan-peralatan didalamnya. Akibat dari terjadinya gangguan ini dapat merusakkan peralatan-peralatan listrik dan terganggunya penyaluran listrik pada konsumen.

Analisa gangguan atau perhitungan-perhitungan gangguan sangat penting dilakukan, karena dengan adanya analisa gangguan tersebut maka akan memungkinkan kita untuk membuat pengamanan (memasang peralatan proteksi) yang cocok untuk suatu sistem tenaga listrik.

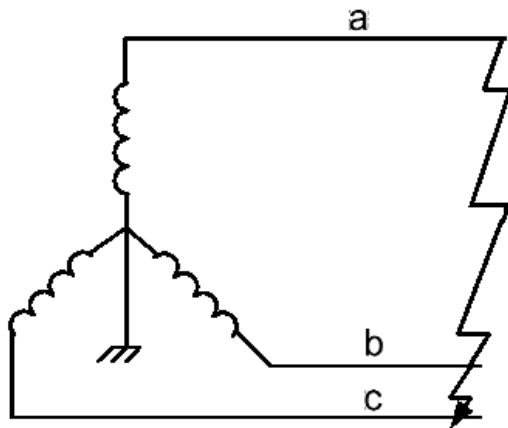
##### A. Jenis Gangguan

Berdasarkan besar magnitude dan fasa dari tegangan dan arus gangguan yang dihasilkan, gangguan hubung singkat dibagi menjadi dua :

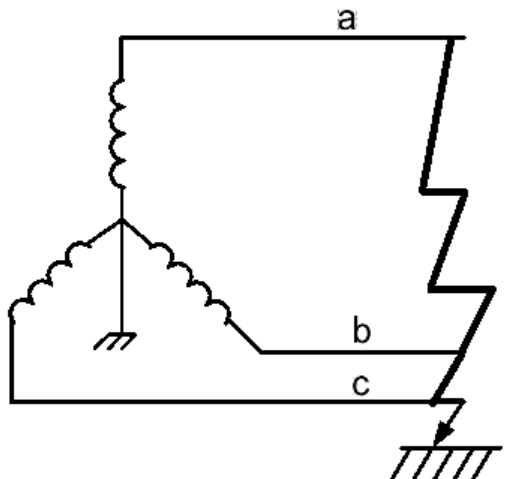
##### 1. Gangguan Simetris

Gangguan simetris merupakan jenis gangguan yang menghasilkan magnitude dan fasa tegangan dan arus gangguan yang memiliki nilai yang sama antara ketiga fasanya. Gangguan ini terdiri dari gangguan tiga fasa dan gangguan tiga fasa ke tanah.

a) Gangguan tiga fasa



b) Gangguan tiga fasa ke tanah



Dengan I fault nya ;

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1}$$

## 2. Gangguan Asimetris

Gangguan asimetris adalah jenis gangguan yang menghasilkan magnitude dan fasa tegangan dan arus gangguan yang memiliki nilai yang berbeda antara ketiga fasanya. Untuk menganalisa gangguan asimetris digunakan konsep komponen simetris yang dicetuskan C.L. Fortesque pada tahun 1918.

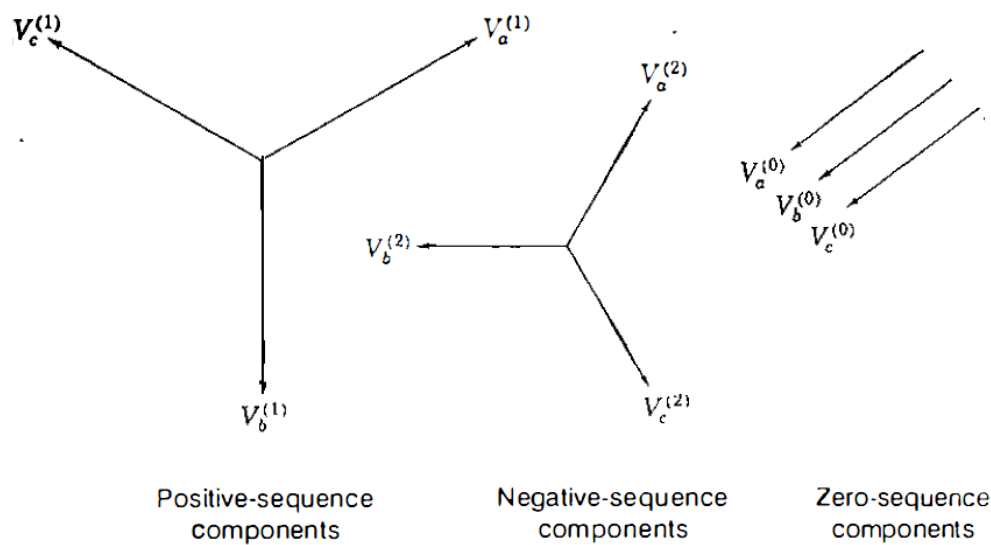


Konsep komponen simetris

Konsep komponen simetris yang dicetuskan C.L. Fortesque menggunakan beberapa konsep dasar sebagai berikut :

Sequence

Menurut Fortesque, terdapat tiga macam sequence yaitu :



Komponen simetris

Komponen simetris tiap fasa disusun dari ketiga sequence tersebut dimana notasi 1 menyatakan komponen sequence positif, notasi 2 menyatakan komponen sequence negatif dan notasi 0 menyatakan komponen sequence nol.

$$V_a = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)}$$

$$V_b = V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)}$$

$$V_c = V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)}$$

Operator a

Operator a menyatakan pergeseran sudut yang dialami oleh komponen-komponen simetris dalam suatu fasa. Operator ini mengacu pada komponen fasa R (dapat disebut fasa A ataupun fasa U)

$$\alpha = 1\angle 120^\circ$$

$$\alpha^2 = 1\angle 240^\circ$$

$$\alpha^3 = 1\angle 360^\circ$$

Dengan total nilai  $1+a+a^2=0$

Sehingga dengan menggunakan operator a didapatkan bahwa :

$$\left. \begin{array}{ll} V_b^{(0)} = V_a^{(0)} & V_c^{(0)} = V_a^{(0)} \\ V_b^{(1)} = \alpha^2 V_a^{(1)} & V_c^{(1)} = \alpha V_a^{(1)} \\ V_b^{(2)} = \alpha V_a^{(2)} & V_c^{(2)} = \alpha^2 V_a^{(2)} \end{array} \right|$$

Jika dibentuk menjadi komponen simetris setiap fasanya akan menjadi :

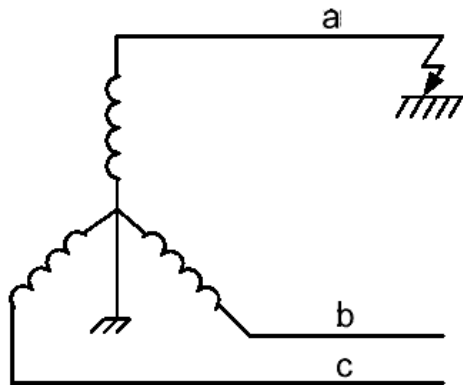
$$V_a = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)}$$

$$V_b = V_a^{(0)} + \alpha^2 V_a^{(1)} + \alpha V_a^{(2)}$$

$$V_c = V_a^{(0)} + \alpha V_a^{(1)} + \alpha^2 V_a^{(2)}$$

Ketiga persamaan ini selanjutnya akan digunakan untuk menganalisis gangguan asimetris

a) Gangguan satu fasa ke tanah

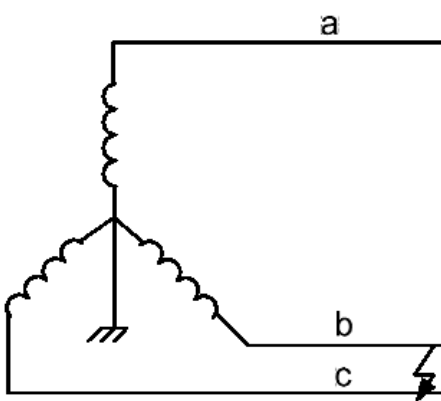


Gangguan satu fasa ke tanah

$$\begin{aligned} V_A &= 0 \\ I_B &= 0 \\ I_C &= 0 \end{aligned}$$

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

b) Gangguan dua fasa

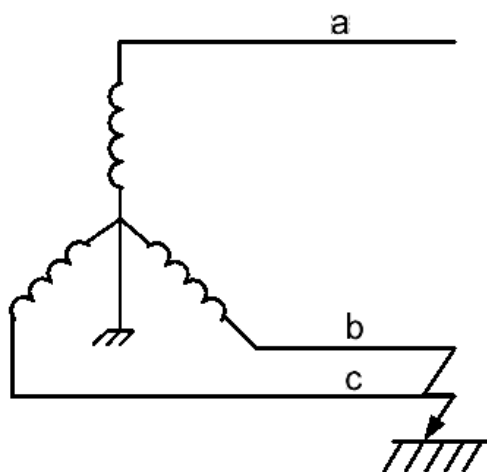


Gangguan dua fasa

$$\begin{aligned} V_B &= V_C \\ I_A &= 0 \\ I_B &= -I_C \end{aligned}$$

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

c) Gangguan dua fasa ke tanah



Gangguan dua fasa ke tanah

$$\begin{aligned} V_B &= 0 \\ V_C &= 0 \\ I_A &= 0 \end{aligned}$$

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_0 Z_2}{Z_0 + Z_2}}$$

**B. Hubung singkat**

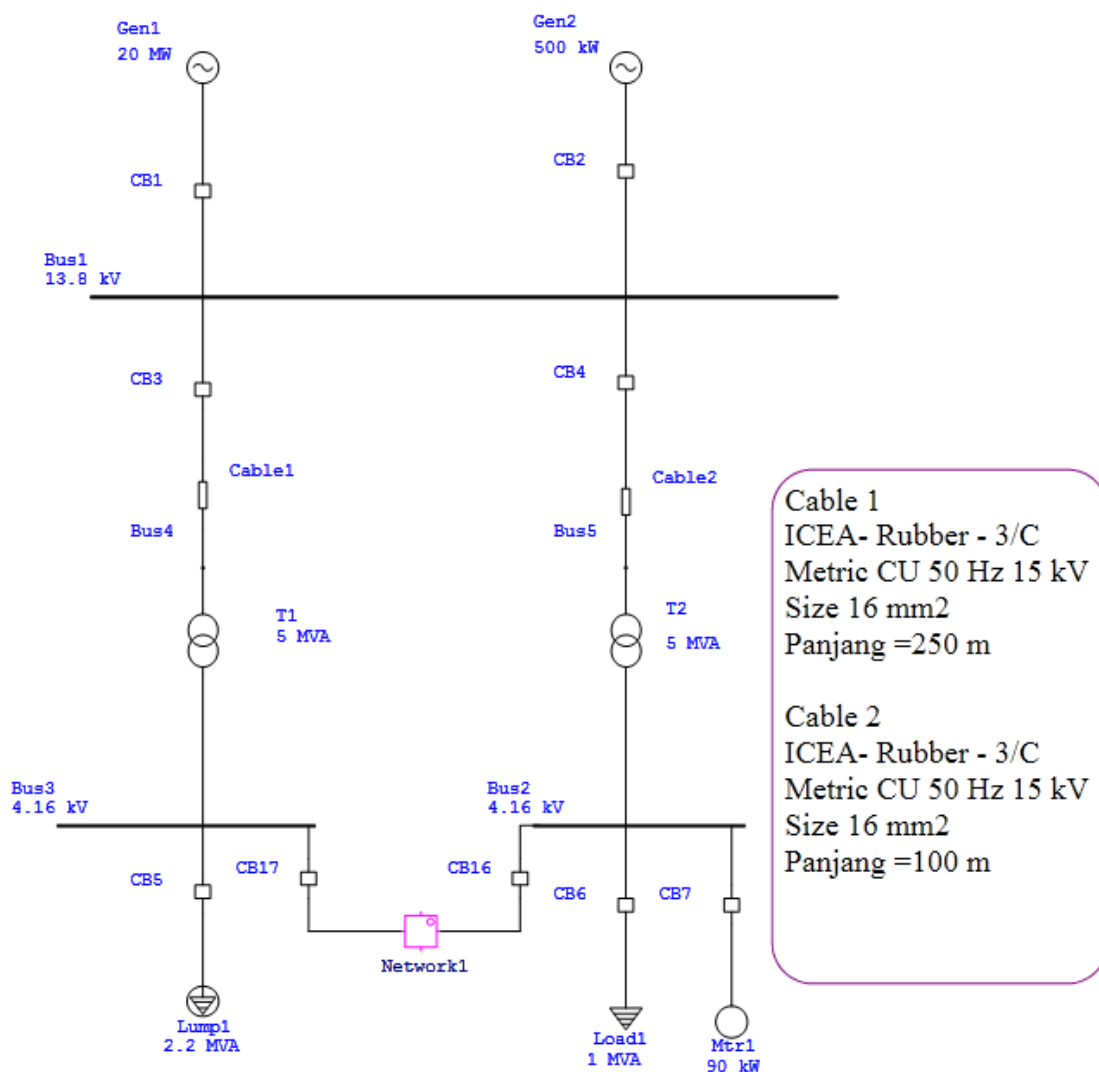
Pada suatu sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari adanya gangguan, walaupun sudah didesain sebaik mungkin. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya hubung singkat. Adanya hubung singkat menimbulkan arus lebih yang pada umumnya jauh lebih besar daripada arus pengenal peralatan dan terjadi penurunan tegangan pada sistem tenaga listrik.

Berdasarkan jenis arus gangguannya, gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua bagian yaitu gangguan simetris dan gangguan tak simetris. Yang dimaksud dengan gangguan simetris adalah gangguan yang arus gangguannya seimbang dan sebaliknya gangguan tak simetris adalah gangguan yang arus gangguannya tak seimbang.

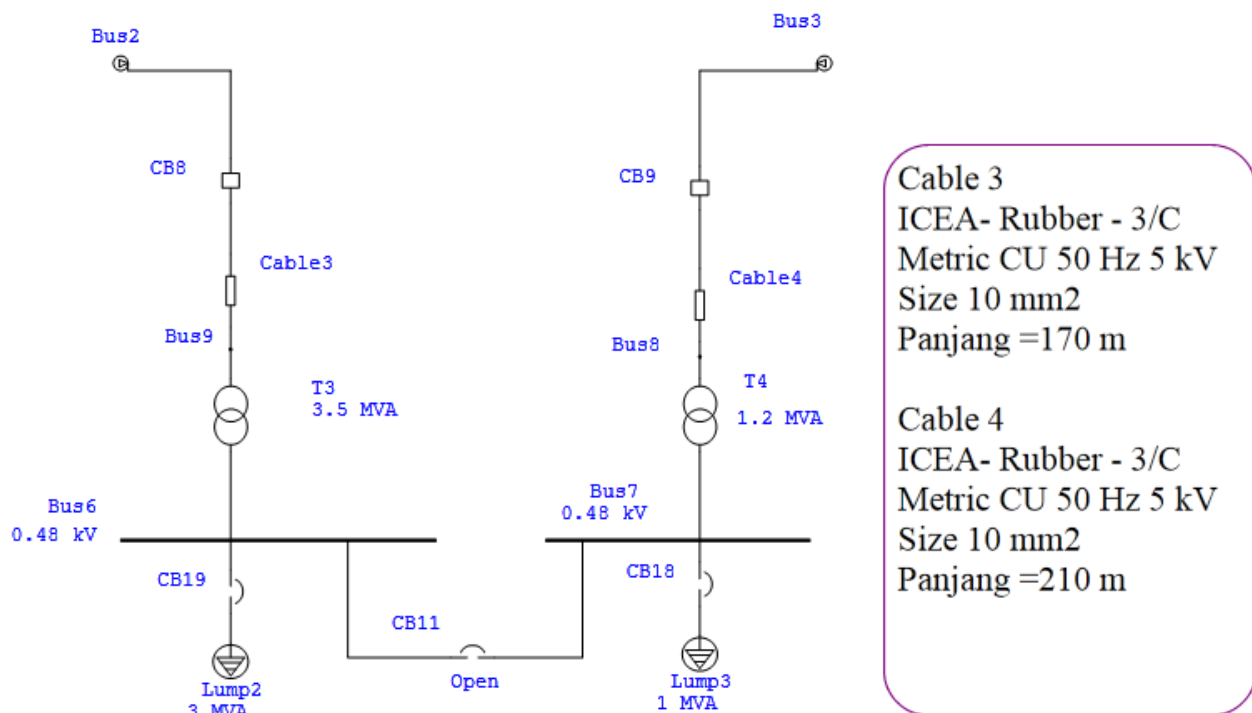
**3. Prosedur Percobaan**

1. Percobaan Analisis Gangguan

a. Rangkaian Percobaan



Gambar 6. Rangkaian Analisa Gangguan



Gambar 7. Rangkaian Network1

Gen1 dan Gen2 Typical data

b. Percobaan Gangguan Tiga Fasa Dengan Tidak Ada Arus Beban

1. Buat rangkaian sesuai dengan gambar 1 dan 2 dengan menggunakan ETAP 12.6.0
2. Tulis rating generator, circuit breaker dan kabel yang ada pada gambar seperti yang telah disediakan.
3. Buka semua circuit breaker yang mengarah ke beban
4. Amati arus yang mengalir pada rangkaian percobaan dengan menggunakan load flow analysis
5. Kemudian berikan gangguan pada bus dengan menggunakan short circuit study case.
6. Amati arus gangguan yang terjadi.
7. Catat besarnya arus gangguan.
8. Periksa Short Circuit Analysis View
9. Ulangi percobaan dengan menutup circuit breaker dari gen2.

- c. Percobaan Gangguan Tiga Fasa Dengan Adanya Arus Beban
1. Buat rangkaian sesuai dengan gambar 1 dan 2 dengan menggunakan ETAP 12.6.0
  2. Tulis rating generator, circuit breaker dan kabel yang ada pada gambar seperti yang telah disediakan.
  3. Tutup semua circuit breaker yang mengarah ke beban
    - a) Perubahan Jumlah Kapasitas Suplai
      - Gangguan I, Atur CB Generator 20 MW dalam keadaan close dan CB Generator 500 kW dalam keadaan open
      - Gangguan II, Atur CB Generator 20 MW dalam keadaan close dan CB Generator 500 kW dalam keadaan close
    - b) Perubahan jumlah beban pada Generator 20 MW & 500 kW.
      - Gangguan I, Atur CB Composite Network dalam keadaan open
      - Gangguan II, Atur CB Composite Network dalam keadaan close
    - c) Perubahan Tegangan Pada Bus (kV)
      - Gangguan I, ubah Bus 1 menjadi 10 kV, dan nilai bus 2 serta bus 3 menjadi 3 kV.
      - Gangguan II, ubah Bus 1 menjadi 15.8 kV, dan nilai bus 2 serta bus 3 menjadi 5.6 kV.
    - d) Perubahan Impedansi saluran Kabel
      - Gangguan I, Kabel 1 & 2 berada pada nilai awalnya yaitu dengan nilai  $R = 1,353$   $X = 0.1241$  serta panjang kabel 1 = 250 m, panjang kabel 2 = 100 m
      - Gangguan II, Kabel 1 & 2 berada pada nilai  $R = 100$   $X = 56$  serta panjang kabel 1 = 400 m, panjang kabel 2 = 200 m
    - e) Perubahan Tap Trafo Pada kapasitas Generator 20MW & 500 kW.
      - Gangguan I, Trafo 1 & 2 berada pada nilai awalnya yaitu Tap 0 %
      - Gangguan II, Trafo 1 & 2 berada pada nilai yaitu Tap -2.5 %
    - f) Perubahan Kapasitas Trafo Pada kapasitas Generator 20MW & 500 kW.
      - Gangguan I, Trafo 1 & 2 berada pada nilai 5 MVA
      - Gangguan II, Trafo 1 & 2 berada pada nilai 10 MVA
  4. Amati arus yang mengalir pada rangkaian percobaan dengan menggunakan load flow analysis

5. Kemudian berikan gangguan pada bus dengan menggunakan short circuit study case.
6. Amati arus gangguan yang terjadi.
7. Catat besarnya arus gangguan.
8. Periksa Short Circuit Analysis View

## MODUL V

### ANALISIS STARTING MOTOR INDUKSI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0

#### 1. Tujuan Percobaan

1. Mensimulasikan dan menganalisis kondisi dan voltage drop saat starting motor induksi dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0
2. Mempelajari karakteristik arus saat starting, running, dan stopping pada motor induksi dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0
3. Mengetahui cara-cara mengurangi lonjakan arus starting

#### 2. Dasar Teori

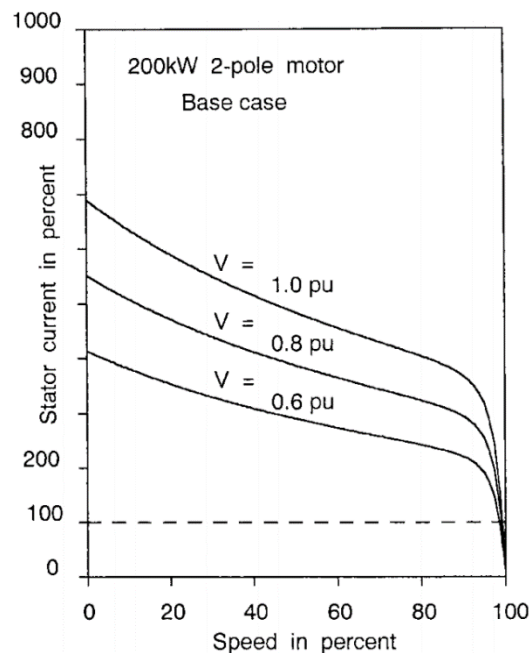
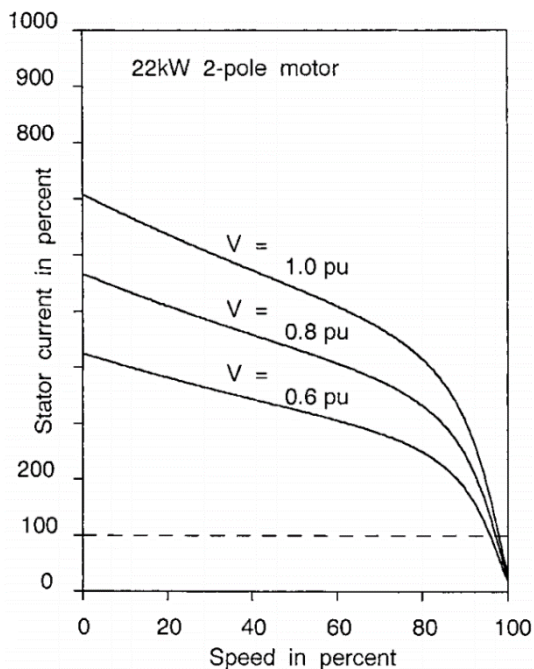
Selama periode waktu starting, motor pada sistem akan dianggap sebagai sebuah impedansi kecil yang terhubung dengan sebuah bus. Motor akan mengambil arus yang besar dari sistem, sekitar enam kali arus ratingnya, dan bisa menyebabkan voltage drop pada sistem serta menyebabkan gangguan pada operasi beban yang lain

Torsi percepatan motor bergantung pada tegangan terminal motor, oleh karena itu untuk motor dengan tegangan terminal yang rendah di beberapa kasus akan menyebabkan starting motor tidak akan mencapai nilai kecepatan ratingnya.

Data-data yang diberikan oleh pabrik untuk operasi full load motor biasanya berupa : tegangan line to line (V), arus line (A), output daya  $P_o$  (kW), power factor  $\cos\phi$  (per unit), efisiensi  $\eta$  (per unit atau percent), slip  $s$  (per unit atau percent). Dengan memeriksa nilai impedansi motor atau data dari pabrik, dapat kita lihat nilai arus starting bervariasi antara 3,5 kali arus full-load untuk motor tegangan tinggi dan sekitar 7 kali arus full-load untuk tegangan rendah.

Selain itu arus starting bisa dihitung dari rangkaian ekivalen dengan menset nilai slip nol. Setelah didapat nilai arus starting maka nilai starting kVA dan PF bisa didapat. Variasi arus starting terhadap kecepatan untuk motor 22 kW dan 200 kW diperlihatkan grafik di bawah ini.





Sebagian besar beban-beban mekanik di industri diklasifikasikan ke dalam 2 grup yaitu: torsi kuadrat versus kecepatan dan torsi konstan versus kecepatan

Karakteristik kuadrat ada pada beban seperti pompa sentrifugal, kompresor sentrifugal, kipas, dan lain-lain. Secara umum karakteristiknya ada dua yaitu bagian statik dan bagian dinamik. Bagian statik menghitung torsi inisial yang dibutuhkan saat kecepatan nol dan kecepatan sangat rendah. Sekitar 5 sampai 15 % torsi full-load dibutuhkan untuk menggerakkan batang. Torsi inisial ini biasa disebut stiction. Jika batang mulai berotasi torsi ini berkurang. Saat kecepatannya di atas sekitar 10%, torsi statik bisa diabaikan. Bagian dinamik torsi berhubungan dengan energi yang dibutuhkannya. Karakteristik dinamik dapat dirumuskan

$$T_{\text{dynamic}} = KN^2$$

di mana N adalah kecepatan batang

Sebagian besar pompa sentrifugal dan kompresor sentrifugal di start saat kondisi no-load. Artinya mesin membutuhkan energi dan torsi minimum dari motor. Torsi full-speed untuk operasi no-load antara 40% - 0% torsi full-load.

Untuk beban dengan karakteristik torsi konstan versus kecepatan seperti conveyor, lifting, crushers, dan lain-lain. Dari kecepatan nol ke kecepatan penuh, torsinya tetap konstan. Mesin tipe ini sulit untuk start dan mencapai kecepatan penuhnya. Beban seperti ini biasanya

menggunakan motor tipe double cage, yang rotornya mempunyai dua lilitan rotor, satu di luar, satu di dalam dalam satu slot atau slot yang terpisah. Dengan memilih rasio  $X$  per  $R$  untuk lilitan ini, membuat motor bisa menghasilkan dua torsi untuk slip tertentu. Kombinasi torsi bisa konstan selama periode acceleration. Namun, yang perlu diperhatikan harus dijamin juga bahwa motor memiliki torsi yang cukup untuk mempercepat beban saat tegangan terminalnya jatuh.

Pada saat starting maka besarnya torsi akan mencapai 2 kalinya besar beban penuh, sehingga untuk mengurangi lonjakan arus dibutuhkan metode starting. Metode-metode starting tersebut antara lain.

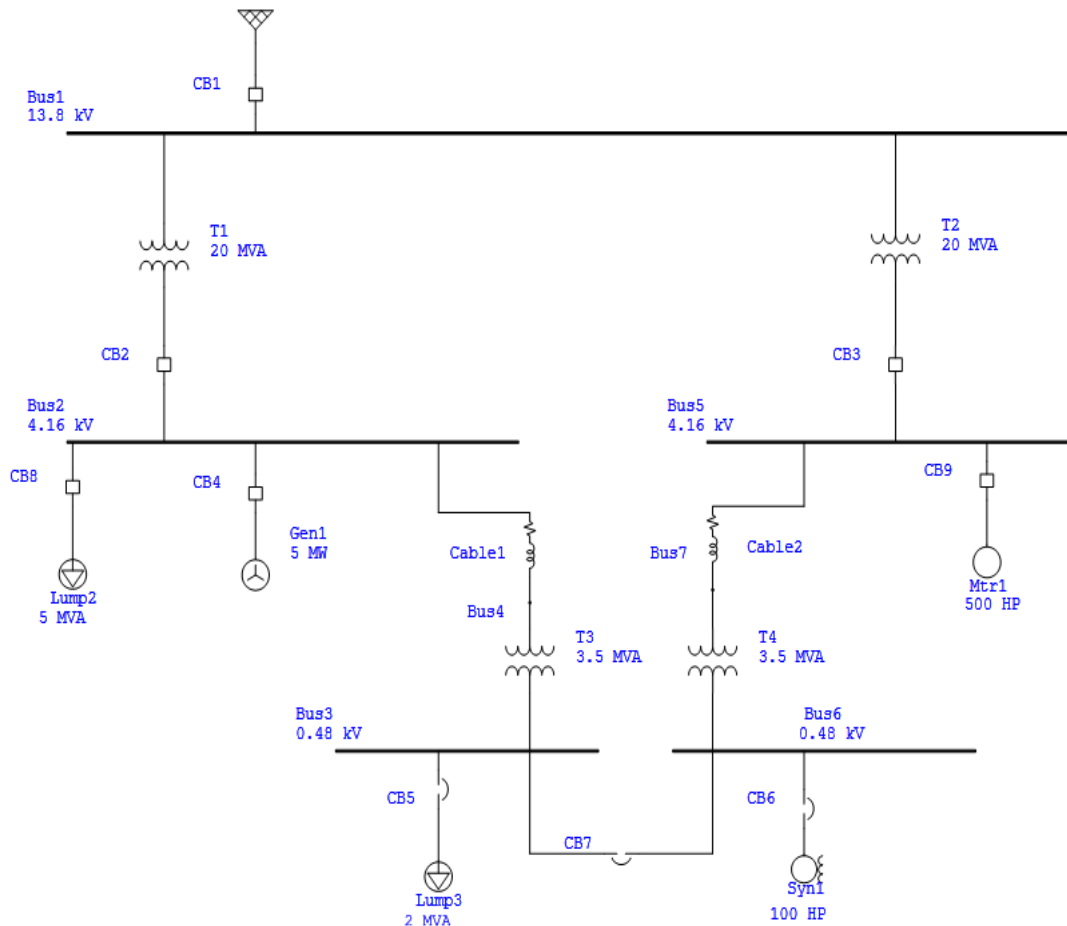
- Direct online starting (DOL)
- Y- $\Delta$  starting
- Soft starting
- Auto trafo starting
- Kapasitor

### 3. Prosedur Percobaan

Percobaan Starting Motor Induksi

a. Rangkaian Percobaan

Ubah jadi IEC 50 Hz



Gambar 8. Starting Motor Induksi

b. Simulasi percobaan static starting motor induksi

1. Buat rangkaian sesuai dengan gambar 3 dengan menggunakan ETAP 12.6.0
2. Tulis rating peralatan sesuai lembar pengamatan
3. Klik Motor Acceleration Analysis
4. Klik Case Study
5. Pilih Menu Event dan Add Event ID nya
6. Beri nama Event ID dan Isi Time nya sebesar 0.1
7. Klik Add pada Action by Element
8. Pilih Motor pada Element Type, Pilih Start pada Action dan Pilih ID nya Mtr1 dan Ok

9. Klik Add lagi pada Action by Element
  10. Pilih Motor pada Element Type, Pilih Start pada Action dan Pilih ID nya Syn1 dan Ok
  11. Isi kolom Total Simulation Time sebesar 3 Second dan Ok
  12. Klik Display Option dan Klik Bus Magnitude
  13. Klik Run Static Motor Starting
  14. Klik Motor Starting Plot
  15. Pilih Motor pada Device Type dan Pilih Mtr1 dan Syn1 pada Device ID, semua Plot Type dipilih dan Klik Ok
  16. Gambar grafik pada lembar pengamatan.
- c. Simulasi percobaan dinamic starting motor induksi
1. Buat rangkaian sesuai dengan gambar 3 dengan menggunakan ETAP 12.6.0
  2. Tulis rating peralatan sesudah lembar pengamatan
  3. Klik Case Study
  4. Pilih Menu Event, Add Event ID nya
  5. Beri nama Event ID dan Isi Time nya sebesar 0.1
  6. Klik Add pada Action by Element
  7. Pilih Motor pada Element Type, Pilih Start pada Action dan Pilih ID nya Mtr1 dan Ok
  8. Klik Add lagi pada Action by Element
  9. Pilih Motor pada Element Type, Pilih Start pada Action dan Pilih ID nya Syn1 dan Ok
  10. Isi kolom Total Simulation Time sebesar 7 Second dan Ok
  11. Klik Display Option dan Klik Bus Magnitude
  12. Klik Run Dynamic Motor Starting
  13. Klik Motor Starting Plot
  14. Pilih Motor pada Device Type dan Pilih Mtr1 dan Syn1 pada Device ID, semua Plot Type dipilih dan Klik Ok
  15. Gambar grafik pada lembar pengamatan.

## MODUL VI

### PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM PROTEKSI TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0

#### 1. Tujuan Percobaan

1. Mempelajari penggunaan sistem proteksi tenaga listrik
2. Mempelajari fungsi proteksi sistem tenaga listrik
3. Mempelajari syarat-syarat sistem proteksi tenaga listrik yang baik dan benar
4. Mempelajari jenis-jenis proteksi pada sistem tenaga listrik
5. Mensimulasikan dan menganalisis sistem proteksi tenaga listrik menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0

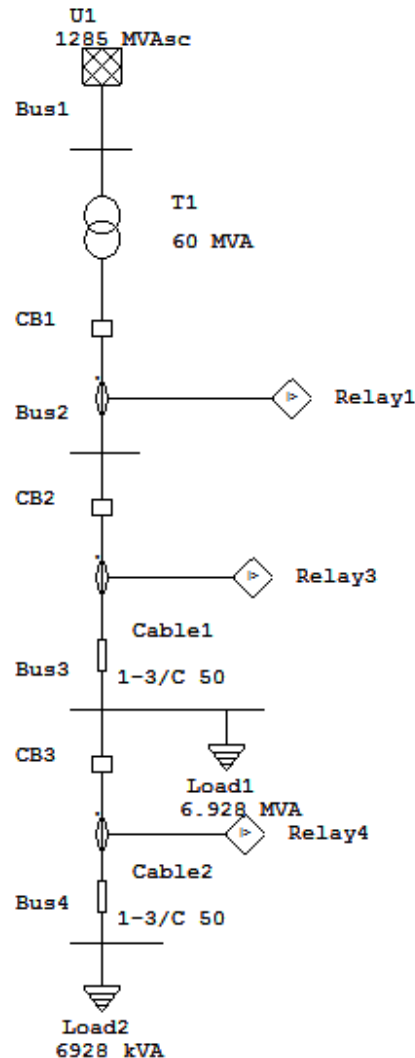
#### 2. Dasar Teori

Suatu sistem tenaga listrik tidak selamanya dapat berjalan dengan normal karena sering terjadinya kondisi ketidaknormalan (seperti ganggiam) pada sistem yang berasal dari luar maupun dalam sistem. Kondisi ketidaknormalan ini dapat mengganggu dan membahayakan sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang melindungi sistem tenaga listrik tersebut yang disebut dengan sistem proteksi tenaga listrik. Diharapkan dengan menggunakan sistem ini dapat meminimalisasi efek dari kondisi abnormal. Kondisi abnormal atau gangguan ini dapat terjadi pada pembangkit, jaringan transmisi, dan distribusi. Dengan adanya proteksi ini dapat mengidentifikasi dan memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin.

Sistem proteksi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang dirancang dapat mengidentifikasi gangguan tersebut dengan melihat besar arus, tegangan ataupun sudut fasa. Dengan informasi inilah yang akan digunakan untuk membandingkan besaran ambang batasnya pada peralatan proteksi dengan nilai yang terjadi saat terjadinya kondisi abnormal. Jika nilai yang terjadi melebihi ambang batas yang diizinkan, maka sistem proteksi akan bekerja.

### 3. Prosedur Percobaan

#### 1. Rangkaian Percobaan



#### 2. Percobaan koordinasi proteksi pada peralatan proteksi gambar tersebut

- a. Buat rangkaian sesuai dengan gambar
- b. Tulis rating generator, trafo, load dan kabel yang ada pada gambar seperti yang dibawah ini
  1. Power Grid dengan 1285 MVAAsc, 150 kV, X/R 2.4, Swing mode
  2. Trafo (T1) Step Down 60 MVA, 150 kV ke 20 kV, dan typical Z,X,R
  3. Cable 1 dengan unit system metric, 50 Hz, CU, Non magnet, 22 kV, Caled BS6622 XLPE 3/C, Size 50, lenght 500 m
  4. Cable 2 dengan unit system metric, 50 Hz, CU, Non magnet, 22 kV, Caled BS6622 XLPE 3/C, Size 50, lenght 500 m

5. Load 1 dengan rating 20 kV, 200 A, PF 85%
6. Load 2 dengan rating 20 kV, 200 A, PF 85%
- c. Jalankan analisis aliran daya (Load Flow Analysis)
- d. Catatlah besar arus listrik yang mengalir pada lembar pengamatan.
- e. Jalankan analisis hubung singkat (Short Circuit Analysis) dengan edit study case nya, semua bus di buat fault.
- f. Catatlah besar arus hubung singkat yang terjadi pada lembar pengamatan
- g. Aturlah besarmasing-masing CT sesuaidenganpengaturan rating dibawahini:
  1. Ratio CT 1 : Primary/Secondary = 450:5 A
  2. Ratio CT 3 : Primary/Secondary = 450:5 A
  3. Ratio CT 4 : Primary/Secondary = 200:5 A
- h. Aturlah besar settingan relay sesuai dengan data berikut ini:
  1. Relay 1  
Pada menu OCR, pilih settingan relaynya dari library yang tersedia dengan kriteria sebagai berikut:
    - 1 Manufacturer : GE Multilin, Protection type : Feeder, Function : Overcurrent, Model : F60, Kemudian Ok
    - 2 Pada submenu phase, yang diisi hanya yang overcurrent, selainnya untuk instantaneous dan neutral, ground dan neq-seq
    - 3 Pilih curve time : IEEE-Extremely Inverse
    - 4 Pada menu output, lakukan add, pilih relay elementnnya : phase, level/zone : any, Device :HVCB, ID CB 1, Action: open
  2. Relay 2  
Pada menu OCR, pilih settingan relaynya dari library yang tersedia dengan kriteria sebagai berikut:
    1. Manufacturer : GE Multilin, Protection type : Feeder, Function : Overcurrent, Model : F60, Kemudian Ok
    2. Pada submenu phase, yang diisi hanya yang overcurrent, selainnya untuk instantaneous dan neutral, ground dan neq-seq
    3. Pilih curve time : IEEE-Moderately Inverse
    4. Pada menu output, lakukan add, pilih relay elementnnya : phase, level/zone : any, Device :HVCB, ID CB 2, Action: open

### 3. Relay 3

Pada menu OCR, pilih settingan relaynya dari library yang tersedia dengan kriteria sebagai berikut:

- a) Manufacturer : GE Multilin, Protection type : Feeder, Function : Overcurrent, Model : F60, Kemudian Ok
  - b) Pada submenu phase, yang diisi hanya yang overcurrent, selainnya untuk instantaneous dan neutral, ground dan neq-seq
  - c) Pilih curve time : IEEE-Vey Inverse
  - d) Pada menu output, lakukan add, pilih relay elementnnya : phase, level/zone : any, Device :HVCB, ID CB 3, Action: open
- i. Aturlah besar settingan circuit breaker dengan data berikut ini:
    1. Pada CB 1, buat besar tegangannya 24 kV, rated Amp nya 630 A
    2. Pada CB 2, besar tegangannya 24 kV, rated Amp nya 630 A.
    3. Pada CB 3, besar tegangannya 24 kV, rated Amp nya 400 A.
  - j. Pilih menu, pilih star – Protective Device Coordination
  - k. Block desain yang sudah dibuat
  - l. Kemudian, Create Star View
  - m. Kemudian settinglah kurva relay sedemikian rupa desain dapat bekerja dengan baik



## MODUL VII

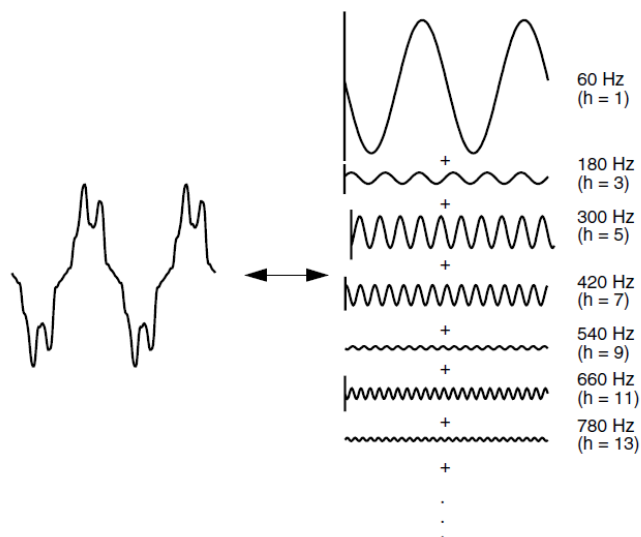
### ANALISIS HARMONIK DAN PERANCANGAN FILTER HARMONIK MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0

#### 1. Tujuan Percobaan

1. Mempelajari fenomena harmonik pada sistem tenaga listrik
2. Mengetahui akibat-akibat yang disebabkan oleh harmonik
3. Mempelajari parameter-parameter dalam menganalisis harmonik
4. Mempelajari jenis-jenis filter harmonik
5. Mensimulasikan dan menganalisis harmonik menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0

#### 2. Dasar Teori

Harmonisa adalah penyimpangan gelombang arus dan tegangan akibat adanya frekuensi dengan kelipatan dari frekuensi dasarnya. Sebagai contoh frekuensi dasar 50 Hz, maka frekuensi harmonisa kedua 100 Hz, frekuensi harmonisa ketiga 150 Hz, dan seterusnya. Superposisi antara gelombang frekuensi dasar dengan gelombang frekuensi harmonik menghasilkan gelombang terdistorsi.



Gambar 9. Gelombang Terdistorsi Harmonik

Dalam menganalisis suatu sistem yang terdistorsi harmonik, terdapat beberapa parameter yang perlu diketahui, antara lain:

1. Komponen Harmonik
2. Orde Harmonik
3. Spektrum Harmonik
4. Individual Harmonic Distortion
5. Total Harmonic Distortion
6. Total Demand Distortion
7. Triplen harmonic
8. Urutan fasa harmonik

Besar harmonik pada suatu sistem tidak boleh melebihi standar yang berlaku, adapun standar tersebut adalah.

*Tabel 1. Standar Harmonik untuk Distorsi Arus*

$I_{sc}/I_L$	<i>Individual current distortion (%)</i>					<i>Total current distortion</i> THD-i (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

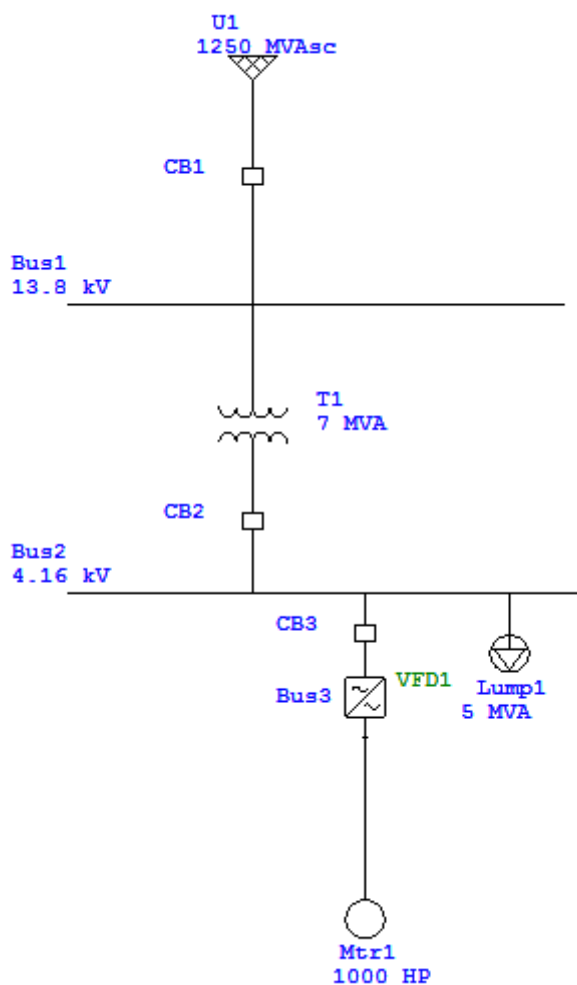
Tabel 2. Standar Harmonik untuk Distorsi Tegangan

Tegangan pada PCC, $V_n$ (kV)	Individual harmonic voltage distortion (%)	Total voltage harmonic distortion, THD-v (%)
$V_n \leq 69$	3.0	5.0
$69 < V_n \leq 161$	1.5	2.5
$V_n > 161$	1.0	1.5

### 3. Prosedur Percobaan

#### A. Percobaan analisis harmonik pada rangkaian

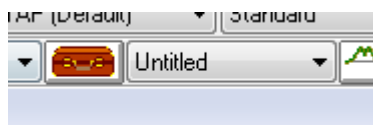
1. Buatlah rangkaian dibawah ini dengan software ETAP 12.6.0



2. Tulis rating aparatus seperti data dibawah ini:
  - a) Power Grid dengan 1250 MVA<sub>sc</sub>, 13,8 kV, X/R 1, Swing mode
  - b) Trafo (T1) Step Down 7 MVA, 13.8 kV ke 4.16 kV, dan typical Z,X,R, dan masukkan input harmonic pada tap harmonik sesuai perintah asisten
  - c) Lumped Load (Lump1) 5MVA
  - d) Motor (Mtr1) 1000HP, 4kV, typical data Existing
  - e) Variable Frequency Drive (VFD1) 4.16 kV, 1000HP, by pass status All Open, dan masukkan input harmonic pada tap harmonik sesuai perintah asisten
3. Jalankan analisa Load Flow
4. Catatlah arus yang mengalir pada Bus 1 ( $I_L$ )
5. Jalankan analisa Short Circuit
6. Catatlah arus hubung singkat yang mengalir pada Bus 1 ( $I_{sc}$ )
7. Lakukan perhitungan Standar Harmonik untuk Distorsi Arus dengan rumus

$$\text{Standar Harmonik untuk Distorsi Arus} = \frac{I_{sc}}{I_L}$$

8. Catatlah hasil dari Standar Harmonik untuk Distorsi Arus pada lembar data lalu cocokkan dengan tabel distorsi arus pada modul. Tulislah standar apa yang digunakan pada rangkaian tersebut.
9. Masuklah ke menu analisis harmonik lalu klik Harmonic Analysis Study Case



10. Masuk ke Tap Plot, lalu pilih device-device berikut:
  - a) Busses, lalu pilih Bus1, Bus2 dan Bus3
  - b) Transformer, lalu pilih T1
11. Jalankan analisa Harmonic Load Flow
12. Catatlah besar arus pada Bus1 dan besar %THD-i
13. Catatlah besar tegangan dan besar %THD-v pada Bus1 dan Bus2
14. Bandingkan hasil yang diperoleh lalu lihat bagaimana sistem tersebut berjalan sesuai standar apa tidak, tulis hasil pengamatan pada lembar data

**B. Percobaan perancangan filter harmonik**

1. Melakukan kembali analisis load flow.
2. Catatlah besar daya semu dan PF pada lembar data.
3. Lalu lakukan perhitungan-perhitungan berikut untuk mendapatkan parameter-parameter filter berikut :
  - a) Kapasitansi Filter/Kapasitor

$$X_C = \frac{kV^2}{MVAR}$$

Dimana :

$X_C$  = nilai reaktansi kapasitor

$kV^2$  = tegangan pada bus

MVAR= daya yang dikompensasi kapasitor dimana dapat di cari dengan rumus

$$Q_{comp} = S \sin(\cos^{-1} pf_{awal}) - S \sin(\cos^{-1} pf_{yang\ diinginkan})$$

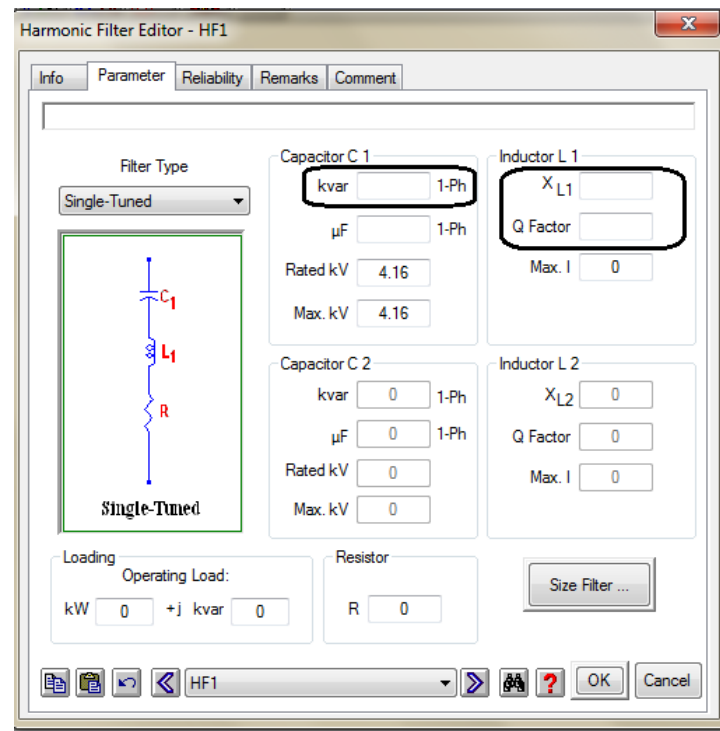
- b) Menjalankan harmonic analysis plot khususnya pada bus1 dan bus2 pada analisa harmonik. Tentukan orde harmonikdominan.
- c) Mencari besar dari dari reaktansi induktor dengan rumus

$$X_L = \frac{X_C}{n^2}$$

dimana :

n adalah orde harmonik dominan

- d) Menentukan quality faktor dimana nilai quality faktor biasanya berada pada range dari 40 sampai dengan 60
4. Masukkan paramter-parameter yang didapatkan kedalam inputan filer yang ada



5. Jalankan harmonic load flow dan catat besar dari %THD untuk besar tegangan dan arus
6. Jalankan load flow analysis dan catat besar dari daya semu dan PF pada lembar data.

**C. Percobaan variasi besar kapasitor terhadap kualitas filter dan pencarian filter ideal**

1. Ubah parameter sesuai dengan variasi yang ada pada lembar data.
2. Jalankan harmonic load flow analysis
3. Catat besar-besarnya dari %THD baik tegangan maupun arus.
4. Lakukan langkah 1 hingga 3 secara berulang untuk variasi data yang ada

## MODUL VIII

### PERANCANGAN DAN ANALISIS GROUNDING SISTEM MENGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0

#### I. Tujuan Percobaan

1. Mempelajari konsep perancangan *grounding* pada sistem tenaga listrik
2. Mengetahui tujuan *grounding* pada sistem tenaga listrik
3. Mengetahui syarat-syarat suatu *grounding* sistem yang optimal
4. Mensimulasikan dan menganalisis sistem *grounding* tenaga listrik menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0

#### II. Dasar Teori

Pentanahan digambarkan sebagai suatu pelaksanaan koneksi atau hubungan listrik yang sengaja dilakukan dari beberapa bagian instalasi listrik ke bumi. Sistem pentanahan merupakan rangkaian atau jaringan yang terdiri dari kutub pentanahan (elektroda), hantaran penghubung (konduktor) sampai terminal pentanahan, yaitu terminal atau titik dimana perangkat dihubungkan. Sistem pentanahan ada dua macam yaitu pentanahan sistem (netral) dan pentanahan peralatan.

Pentanahan peralatan merupakan tindakan pengamanan dari bagian-bagian mesin yang secara normal tidak dialiri arus listrik namun dalam kondisi tidak normal bisa dilalui arus listrik yaitu dengan cara menghubungkan instalasi yang diamankan dengan hantaran netral yang ditanahkan sedemikian rupa sehingga jika terjadi kegagalan isolasi, tegangan sentuh yang tinggi dapat dihindari sampai bekerjanya alat proteksi arus lebih. Sementara itu pentanahan netral biasa dilakukan pada pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi.

Tujuan dari sistem pentanahan berdasarkan IEEE Std 142TM-2007 adalah

- a. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
- b. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem dan bumi.

Syarat suatu sistem pentanahan agar dapat bekerja secara optimal yaitu:

- a) Tahanan pentanahan harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian.
- b) Elektroda yang ditanam dalam tanah harus merupakan bahan konduktor yang baik, tahan korosi, dan cukup kuat
- c) Jangan sebagai sumber arus galvanis.
- d) Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
- e) Tahanan pentanahan harus baik untuk berbagai musim dalam setahun.
- f) Biaya pemasangan serendah mungkin.

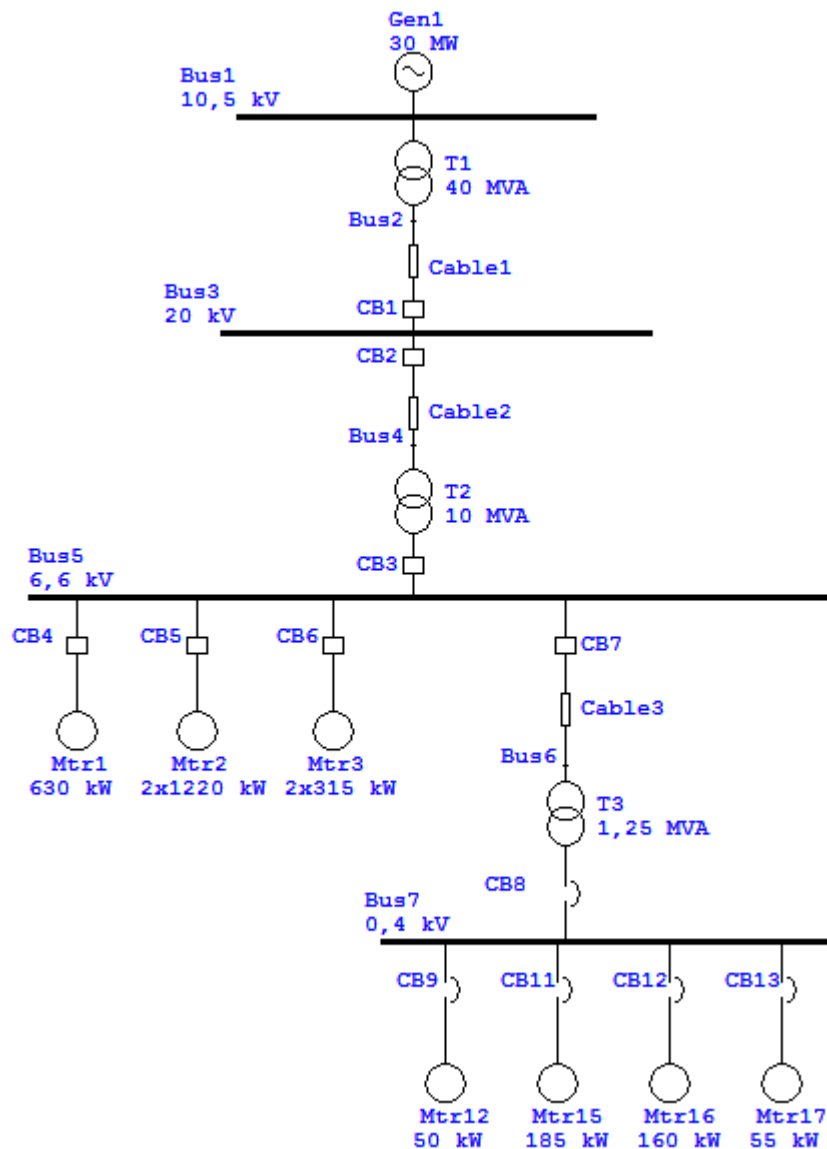
#### Tahanan Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah [Ohm-meter]
1	Sawah, Rawa (Tanah Liat)	0 -150
2	Tanah Garapan (Tanah Liat)	10 – 200
3	Sawah, Tanah Garapan (Kerikil)	100 – 1000
4	Pegunungan (Biasa)	200 – 2000
5	Pegunungan (Batu)	2000 – 5000
6	Pinggir Sungai	1000 – 5000

Setiabudy, Rudy. 2007. Pengukuran Besaran Listrik. Jakarta : Lembaga Penerbit FE-UI.



### III. Prosedur Percobaan



Data Setting :

Cable1 & Cable2 : 16m

Heesung	Non-Mag.	50 Hz	Code : 185		
XLPE	100 %	20 kV	3/C	CU	185 mm <sup>2</sup>

Cable3: 17m

Calcd BS6622	Non-Mag.	50 Hz	Code : 50		
XLPE	100 %	6,6 kV	3/C	CU	50 mm <sup>2</sup>

## MODUL IX

### KESTABILAN SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ETAP 12.6.0

#### I. Tujuan Percobaan

1. Mengetahui dan mengerti konsep dari kestabilan sistem tenaga listrik
2. Mempelajari dan menganalisis pengaruh akibat lepasnya generator (*outage*) pada kestabilan sistem tenaga listrik
3. Mempelajari dan menganalisis pengaruh pelepasan beban terhadap kestabilan sistem tenaga listrik
4. Menganalisis pengaruh pelepasan beban berdasarkan kapasitas pada suatu sistem tenaga listrik

#### II. Dasar Teori

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mencapai kondisi kesetimbangan kembali setelah terjadi gangguan pada sistem tenaga dan seluruh komponen yang terhubung kecuali komponen yang dinonaktifkan untuk mengisolasi instalasi yang mengalami gangguan.

Setelah terjadi gangguan, sistem tenaga listrik dikatakan stabil apabila sistem mencapai suatu keadaan kesetimbangan baru dengan semua komponen yang masih terhubung. Sistem yang tidak stabil dapat menyebabkan perbedaan sudut rotor antar generator yang cukup besar atau penurunan tegangan secara signifikan. Ketidakstabilan ini dapat menyebabkan suatu pembangkit keluar (*outage*) dari suatu sistem tenaga listrik, sehingga dibutuhkan analisa stabilitas peralihan (transien).

Analisa stabilitas peralihan (transien) menentukan perilaku dinamis sistem tenaga selama beberapa detik setelah gangguan yang terjadi. Analisa stabilitas peralihan sistem tenaga dilakukan guna mengetahui kemampuan sistem bertahan terhadap gangguan tertentu dan karakteristik respon sistem.

#### A. Klasifikasi Stabilitas pada Sistem Tenaga Listrik

##### 1. Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor adalah kemampuan dari generator yang terhubung untuk selalu tetap terinterkoneksi untuk selalu tetap sinkron pada kondisi normal dan setelah

gangguan. Parameter yang diamati adalah daya keluaran dari generator sinkron akan berubah seiring dengan perubahan sudut rotor.

Ketidakstabilan dapat terjadi dalam bentuk pembesaran sudut rotor pada generator sehingga generator yang terhubung menjadi tidak sinkron.

## **2. Stabilitas Tegangan**

Stabilitas tegangan adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk menjaga tegangan tetap pada semua bus setelah mengalami gangguan. Suatu sistem dapat mengalami ketidakstabilan tegangan ketika gangguan terjadi, kenaikan beban yang cepat pada beberapa bus. Ketidakstabilan tegangan adalah fenomena lokal namun dampaknya meluas

## **3. Stabilitas Frekuensi**

Stabilitas frekuensi adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk menjaga frekuensi dalam batas nominal setelah terjadinya gangguan yang menyebabkan ketidaksetimbangan yang signifikan antara pembangkit dan beban. Ketidakseimbangan ini dapat menyebabkan ayunan frekuensi yang berakhir pada lepasnya pembangkit (*outage*).

### **B. Gangguan Beban Lebih**

Gangguan beban lebih adalah kondisi yang terjadi pada sistem tenaga listrik apabila daya yang dibutuhkan oleh beban listrik lebih besar dibandingkan dengan jumlah daya listrik yang disuplai oleh pembangkit didalam sistem. Gangguan beban lebih umumnya terjadi keluarnya generator (*outage*) pada sistem tenaga listrik.

Akibat gangguan Beban lebih antara lain :

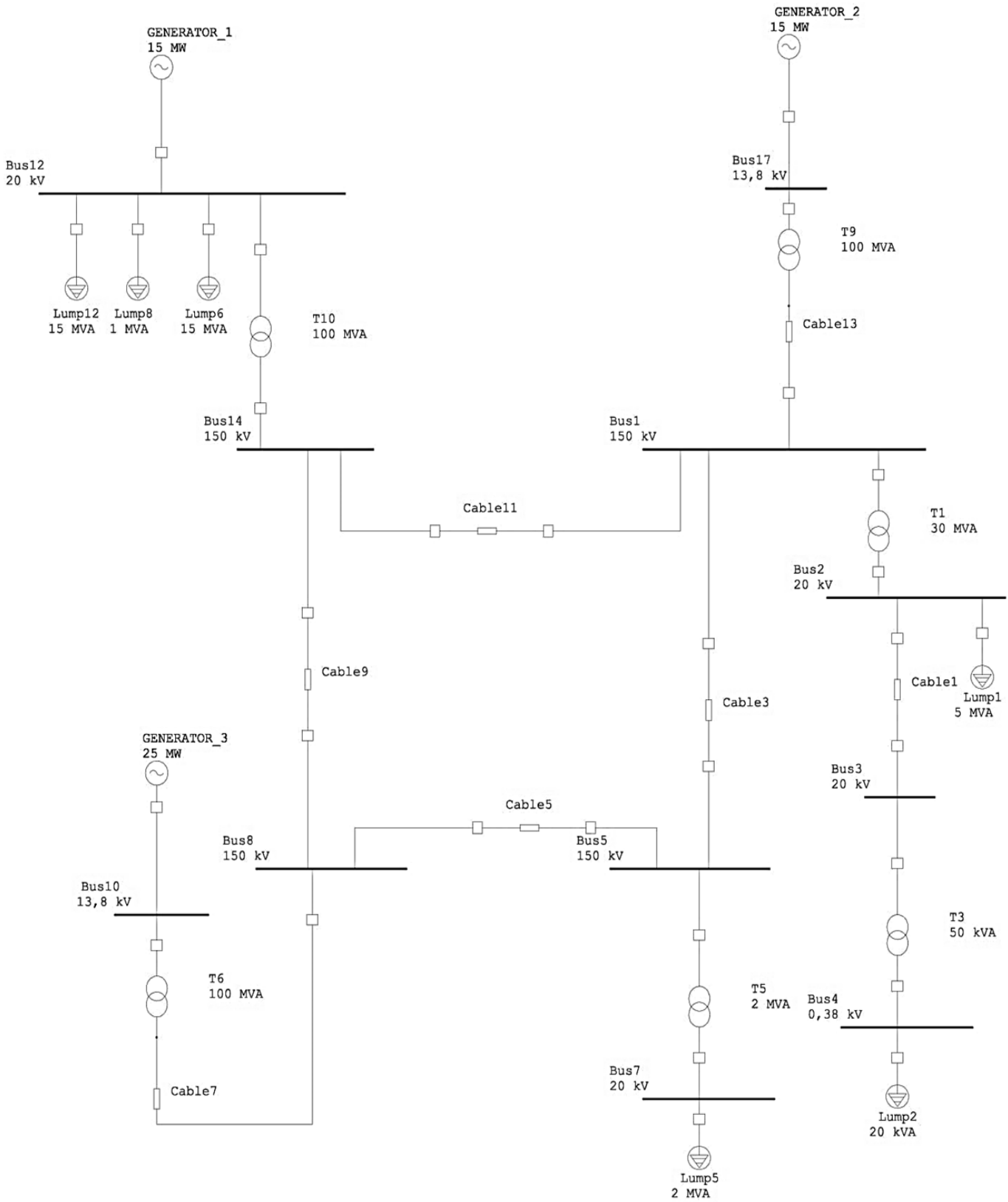
- Penurunan Tegangan Sistem
- Penurunan Frekuensi Sistem

Masalah utama pada gangguan lebih adalah mencapai kesetimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan jumlah daya pembebanan sebelum frekuensi sistem semakin menurun.

Gangguan beban lebih dapat diatasi antara lain dengan :

- Meningkatkan pembangkitan melalui pembangkit yang masih beroperasi
- Pelepasan beban

### III. Prosedur Percobaan



### Spesifikasi dari Single Line Diagram

#### Generator

Parameter	GENERATOR_1	GENERATOR_2	GENERATOR_3
Tegangan	20 kV	13,8 kV	13,8 kV
Daya	15 MW	15 MW	25 MW
Operation Mode	Voltage control	Voltage control	Swing
Inertia (H)	13,33	13,33	8
<b>Impedance : Equivalent – Typical Data</b>			

#### Cable

Cable	Length	No. Library	Size (mm <sup>2</sup> )
Cable 13	10 km	502	50
Cable 1	10 km	497	50
Cable 3	10 km	502	50
Cable 11	10 km	502	50
Cable 5	10 km	502	50
Cable 7	10 km	502	50
Cable 9	10 km	502	50

#### Transformator

Tegangan Primer dan Sekunder	Tinjau dari SLD
Impedance	Typical Z dan X/R

#### Lump Load

Daya (MVA)	Tinjau dari SLD
------------	-----------------

## 1. Percobaan satu generator trip dalam sistem tenaga listrik

1. Buatlah single line diagram sesuai dengan modul menggunakan software ETAP 12.6.0
2. Isi seluruh rating peralatan sesuai dengan modul
3. Jalankan analisa Load Flow
4. Masuklah ke menu Transient Stability analysis lalu klik Study Case



5. Masuk ke Tap Plot, lalu pilih device-device berikut:
  - a. Busses, lalu pilih seluruh bus
  - b. Syn.Generator ,lalu pilih seluruh sync. generator
6. Pilih Menu Event, Add Event ID nya
7. Beri nama Event ID dengan *trip* dan Isi Time nya sebesar 30 second
8. Klik Add pada Action by Element lalu pilih device Circuit Breaker dan nomor CB yang terhubung dengan GENERATOR\_2
9. Isi kolom Total Simulation Time sebesar 30 Second dan Ok
10. Klik *Run Transient Stability*
11. Catat data yang dibutuhkan sesuai dengan lembar data percobaan
12. Klik study case kembali, masuk ke Tap Event kemudian Add Event ID yang baru dan beri nama *pelepasan* dan isi time nya sebesar 10 second
13. Klik Add pada Action by Element lalu pilih Circuit Breaker yang terhubung dengan beban yang akan dilepas (sesuai dengan lembar data percobaan)
14. Klik *Run Transient Stability*
15. Catat data yang dibutuhkan sesuai dengan lembar data percobaan
16. Untuk merubah beban yang dilepas, buka study case dan pilih tap event dan pilih event ID *pelepasan* dan edit kemudian ganti nomor circuit breaker sesuai dengan beban yang akan dilepas (sesuai dengan lembar data percobaan)
17. Catat data yang dibutuhkan sesuai dengan lembar data percobaan
18. Klik Transient Stability Plot
19. Pilih Buses pada Device Type dan seluruh bus pada Device ID, pilih frekuensi pada Plot Type dan Klik Ok
20. screenshot grafik pada lembar pengamatan

## **2. Percobaan dua generator trip dalam sistem tenaga listrik**

1. Klik study case kembali, masuk Event ID *pelepasan* dan pilih delete pada bagian action
2. masuk ke Tap Event kemudian pilih Event ID *trip* dan Klik Add pada Action by Element lalu pilih device Circuit Breaker dan nomor CB yang terhubung dengan GENERATOR\_1
3. Klik *Run Transient Stability*
4. Catat data yang dibutuhkan sesuai dengan lembar data percobaan
5. Klik study case kembali, masuk ke Tap Event dan pilih Event ID *pelepasan*
6. Klik Add pada Action by Element lalu pilih Circuit Breaker yang terhubung dengan beban yang akan dilepas (sesuai dengan lembar data percobaan)
7. Klik *Run Transient Stability*
8. Catat data yang dibutuhkan sesuai dengan lembar data percobaan
9. Untuk merubah beban yang dilepas, buka study case dan pilih tap event dan pilih event ID *pelepasan* dan edit kemudian ganti nomor circuit breaker sesuai dengan beban yang akan dilepas (sesuai dengan lembar data percobaan)
10. Catat data yang dibutuhkan sesuai dengan lembar data percobaan
11. Klik Transient Stability Plot
12. Pilih Buses pada Device Type dan seluruh bus pada Device ID, pilih frekuensi pada Plot Type dan Klik Ok
13. Screenshot grafik pada lembar pengamatan

## MODUL X

### POST TEST

Modul ini berisi post test mengenai materi yang telah diujikan dalam praktikum Sistem Tenaga Listrik. Seluruh praktikan **wajib** untuk mengikuti **Post Test**, karena termasuk dalam komponen penilaian. Waktu dan tempat pelaksanaan akan diberi tahu lebih lanjut.