

ANALISIS KONTINGENSI

SISTEM IEEE 14 BUS DENGAN METODE *BOUNDING*

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Muhammad Dzulfiqar

14524097

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**

2018

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL SKRIPSI UNTUK S1 TEKNIK ELEKTRO UII

TUGAS AKHIR
ISLAM
Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Muhammad Dzulfiqar
14524097

Yogyakarta, 15 November 2018

Menyetujui,

Pembimbing i



Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc.
145240501

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS KONTINGENSI SISTEM IEEE 14 BUS DENGAN METODE BOUNDING

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Muhammad Dzulfiqar

14524097

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 27 November 2018

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc. ,

Anggota Penguji 1: Setyawan Wahyu Pratomo, ST, MT. ,

Anggota Penguji 2: Medilla Kusriyanto, ST, M.Eng. ,

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 3 Desember 2018

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Asyraf Azhar Syahrullah, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK : 045240101

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 15 November 2018


Muhammad Dzulfiqar

...

KATA PENGANTAR



Assalamualaikaum. Wr. Wb

Alhamdulillah Robbil' Alamin, pertaman-tama penulis panjatkan segala puja, puji dan kepada Allah SWT, Raja dari semua Raja karena atas segala karunia dan nikmat-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro pendidikan Strata Satu (S1) Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Baginda Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafa'atnya di Yaumul Kiyamah.

Penulis sadar bahwa segala hal tidak ada yang sempurna, termasuk laporan ini tidak mampu diselesaikan atas dasar kemampuan diri sendiri sehingga dalam penulisan laporan ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karna itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Orang Tua Ibu Yulis Hidayah, Bapak Budi Santosa, dan kakak Ulfa Zhafirah atas dukungan dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, mendampingi dan memberikan bantuan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D, Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas bimbingan selama menempuh kuliah dari semester pertama hingga akhir di Jurusan Teknik Elektro.
5. M. Zharfan Wiranata yang membantu mengajari pembuatan program pada MATLAB.
6. Neni Indah Puspitasari yang sudah mendoakan dan memberikan support selama pengerjaan skripsi ini.
7. Sahabat-sahabat penulis khususnya Dwita Indri Tyasneki, Karina adadiyah, dan teman-teman KKN unit 199 yang telah mendoakan dan memberi semangat serta bertukar pikiran sehingga penulis dapat mengerjakan skripsi ini.
8. Saudara-Saudaraku keluarga besar Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia pada umumnya dan khususnya keluarga besar Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia angkatan 2014.

9. Dan banyak pihak yang tidak dapat penulis sebutkan seluruhnya yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Dalam pengerjaan laporan ini, penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari kesempurnaan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun serta penulis mohon maaf atas segala kekurangan dan kesalahan baik yang disengaja atau tidak disengaja. Semoga Allah SWT meridhai kita semua Amin.

Wassalamualaikum. Wr. Wb.

Yogyakarta, 15 November 2018



Muhammad Dzulfiqar

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti Singkatan
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineering</i>
MW	<i>Mega Watt</i>
MVA	<i>Mega Volt Ampere</i>
f_{pq}	Aliran daya dari bus p ke bus q
f_{pq}^{max}	Aliran daya dari bus p ke bus q maksimal
GSF	<i>Generation Shift Factor</i>
LODF	<i>Line Outage Distribution Factor</i>
P	Daya
X	Matriks X bus
x	Reaktansi Saluran
θ	<i>Theta</i>
δ	Faktor Sensitivitas
N-1	Subsistem yang melingkupi saluran yang akan dilepas (<i>outage</i>)
N-2	Subsistem eksternal yang tidak dibahas secara rinci
N-3	Beberapa bus yang membatasi N-1 dan N-2

ABSTRAK

Untuk menjaga sistem tenaga listrik tetap andal dalam menyalurkan tenaga, perlu dilakukan studi untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan pada saat sistem mengalami gangguan yang dapat menyebabkan *blackout*. Analisis kontingensi adalah analisis aliran daya setelah lepasnya unit pembangkit atau saluran pada suatu sistem transmisi untuk menilai dampak dari kegagalan komponen sistem tenaga. Dalam skripsi ini analisis kontingensi akan diselesaikan dengan menggunakan metode *bounding*. Metode *bounding* adalah metode yang berdasar pada aliran daya DC yang mana tidak mempertimbangkan daya reaktif, hanya daya aktif saja. Kelebihan aliran daya DC diataranya adalah dapat digunakan untuk untuk analisis ketahanan, perhitungan yang lebih sederhana, dan proses pengerjaan lebih cepat. Selain itu metode ini juga membagi suatu sistem tenaga menjadi tiga subsistem, yaitu N-1, N-2, dan N-3 dan mendeteksi pelanggaran batas operasi saluran. Metode *bounding* dapat mempermudah kita melakukan analisis kontingensi pada sistem tenaga listrik, karena metode ini dapat mendeteksi saluran yang dapat mengalami kelebihan beban tanpa melakukan perhitungan pada seluruh sistem. Pada skripsi ini dilakukan perbandingan antara aliran daya sebelum terjadinya pelepasan dan sesudah terjadinya pelepasan suatu saluran pada seluruh sistem yang diimplementasikan pada sistem 14 bus IEEE dengan metode *bounding* menggunakan perangkat lunak MATLAB. Hasil dari penelitian berdasarkan metode *bounding* terdapat 11 saluran dimana wilayah N-1 dan N-3 berada pada wilayah yang sama, dan sembilan saluran harus memperluas wilayah N-1 dan menghitung N-3 yang baru. Jika wilayah N-1 dan N-3 berada pada saluran yang sama maka 19 saluran lain pada sistem dipastikan aman dari *overload*. Jika N-1 harus diperluas maka kemungkinan saluran yang dapat mengalami *overload* menjadi lebih banyak. Hasil penelitian analisis kontingensi tersebut dibuktikan dengan menghitung nilai aliran daya setelah pelepasan beban, dimana saluran pada wilayah N-2 masih dibawah nilai batas operasi masing-masing saluran dan metode *bounding* berhasil.

Kata kunci : Analisis Kontingensi, Aliran Daya, Metode *Bounding*.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
.....	v
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Studi Literatur	4
2.2 Tinjauan Teori.....	5
2.2.1 Analisis Kontingensi.....	5
2.2.2 Metode <i>Bounding</i>	6
2.2.3 Faktor Sensitivitas linear	9
BAB 3 METODOLOGI.....	11
3.1 Alur Penelitian	11
3.2 Perancangan Simulasi Analisis Kontingensi dengan metode <i>Bounding</i>	12
3.3 Data Sistem IEEE 14 Bus	16
3.4 Metode Analisis	18
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19

4.1 Hasil Perhitungan Metode <i>Bounding</i>	19
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	26
5.1 Kesimpulan	26
5.2 Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Wilayah dari Metode <i>Bounding</i>	6
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	12
Gambar 3.2 Diagram Alir Analisis Kontingensi dengan Metode <i>Bounding</i>	15
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> Sistem IEEE 14 bus.	16

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Saluran Sistem IEEE 14 Bus.	16
Tabel 3.2 Data Bus Sistem IEEE 14 Bus.	17
Tabel 4.1 Hasil Analisis Kontingensi dengan Metode <i>Bounding</i>	19
Tabel 4.2 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 4.	20
Tabel 4.3 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 7.	21
Tabel 4.4 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 11.	22
Tabel 4.5 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 18.	23
Tabel 4.6 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 20.	24

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada saat ini sistem tenaga listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat. Oleh karena itu kita membutuhkan suatu sistem tenaga listrik yang andal, untuk mendapat sistem tenaga listrik yang andal kita dapat menggunakan sistem interkoneksi. Pada saat ini sistem interkoneksi sudah sangat banyak digunakan oleh berbagai pembangkit tenaga listrik. Sistem interkoneksi adalah gabungan antara satu sumber pembangkit dengan sumber pembangkit lainnya, sistem ini dapat memastikan pasokan listrik tetap mengalir meskipun terjadi gangguan pada salah satu saluran ataupun sumber pembangkit.

Sistem interkoneksi dapat menjaga pasokan listrik tetap mengalir, maka pada saat pelapasan sistem pembangkit atau saluran harus diperhitungkan terlebih dahulu. Perhitungan ini dilakukan untuk menjaga keandalan dari sistem tenaga listrik tersebut, karena pada saat salah satu saluran atau pembangkit lepas beban yang terhubung ke saluran tersebut akan dialihkan ke saluran lainnya yang tersedia. Untuk mencegah tidak terjadi kelebihan beban pada saat pelepasan pembangkit atau saluran, maka kita dapat menggunakan analisis kontingensi.

Analisis kontingensi adalah analisis yang dilakukan pada bagian aliran daya setelah terjadi gangguan yang mengakibatkan lepasnya unit pembangkit [1]. Prosedur dari analisis kontingensi adalah memodelkan suatu kegagalan sistem tenaga listrik, misalnya kegagalan pada saluran transmisi atau kegagalan pada sistem pembangkit [2]. Analisis kontingensi akan menguji semua saluran dan tegangan di jaringan kemudian membandingkannya dengan batas operasi. Bagian yang penting dari analisis kontingensi adalah kecepatan solusi yang digunakan [2], misalnya saluran satu lepas, maka dengan analisis kontingensi kita dapat menentukan saluran mana yang dapat dihubungkan ke beban dari saluran satu tersebut. Sehingga tidak terjadi kelebihan beban pada saluran baru yang menggantikan tanggung jawab dari saluran satu tersebut.

Untuk menyelesaikan masalah analisis kontingensi pada skripsi ini metode yang akan digunakan adalah metode *bounding*. Untuk melakukan analisis dengan metode *bounding*, subsistem pada sistem tenaga dibagi menjadi tiga bagian yaitu [2]:

1. N1 = subsistem yang melingkupi saluran yang dilepas (*outage*)
2. N2 = subsistem eksternal yang tidak dibahas secara rinci
3. N3 = beberapa bus yang memisahkan N1 dan N2

Dengan adanya pembagian subsistem ini, saluran yang mengalami kelebihan beban dapat dipastikan hanya terdapat pada subsistem N-1 dan N-3 dengan cara menggunakan perhitungan *bounding*, sehingga saluran pada subsistem N-2 akan tetap aman. Metode ini dapat diandalkan dan menarik untuk diimplementasikan dalam sistem IEEE 14 bus untuk menyelesaikan permasalahan analisis kontingensi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dirumuskan sebuah permasalahan penelitian yaitu, bagaimana cara melakukan analisis kontingensi pada sistem menggunakan metode *bounding*.

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam skripsi ini bertujuan agar ruang lingkup pembahasan menjadi jelas dan tidak keluar dari konteks penelitian. Pembatasan masalah dalam skripsi ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Pemilihan subsistem N-1 dan N-3 disesuaikan dengan saluran yang ada pada sistem IEEE 14 bus.
2. Nilai reaktansi saluran, daya pada bus, dan batas operasi saluran adalah data dari sistem IEEE 14 bus dalam satuan per unit.
3. Proses perhitungan komputasi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* MATLAB R2015a.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam skripsi ini yaitu, melakukan analisis kontingensi dengan menggunakan metode *bounding*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam skripsi ini adalah:

1. Dapat menentukan tindakan yang harus dilakukan pada saat sistem mengalami gangguan.
2. Mendapatkan data saluran yang akan kelebihan beban pada saat sistem mengalami gangguan.

3. Dapat mencegah kemungkinan terjadi pemadaman listrik yang terjadi akibat terganggunya saluran transmisi yang menyebabkan pembebanan berlebih pada saluran transmisi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian tentang analisis kontingensi pada sistem tenaga sudah banyak dilakukan oleh beberapa pihak. Syafii dan Nurul Rahmawati dari fakultas Teknik Elektro Universitas Andalas melakukan penelitian mengenai analisis kontingensi. Sistem yang diuji adalah sistem 30 bus IEEE. Pada penelitian tersebut, Syafii dan Nurul Rahmawati menggunakan metode *bounding* dan aliran daya DC. Penelitian tersebut membandingkan analisis kontingensi pada sistem 30 bus IEEE menggunakan metode *bounding* dengan hasil perhitungan aliran daya DC dengan menggunakan perangkat lunak PowerWorld Simulator 15 GSO. Penelitian ini dilakukan dengan melepas tiga saluran pada sistem, yaitu saluran (1-2), (1-3), dan (2-5). Hasil dari penelitian tersebut adalah saluran yang mengalami *overload* pada saat disimulasikan dengan perangkat lunak PowerWorld Simulator 15 GSO adalah saluran yang berada pada subsistem N-1 pada sistem [1].

Selanjutnya penelitian dari Dimas Fajar Uman Putra, Ontuseno Penangsang, dan Adi Soeprijatno melakukan penelitian terhadap kasus *blackout* yang terjadi pada tahun 2007 yang bermula karena adanya *circuit breaker* yang gagal memutuskan saluran pada saat gangguan dan mengidentifikasi penyebab *blackout* tersebut terjadi. Penelitian ini dilakukan dengan cara meneliti data aliran daya pada saat kondisi beban penuh dan kondisi *steady state*. Kemudian data aliran daya tersebut disimulasikan dengan perangkat lunak ETAP 4.0. Dari penelitian tersebut didapati ketidaksesuaian yang seharusnya dapat dihindari agar *blackout* tidak terjadi [3].

Penelitian yang sama dilakukan oleh Dekpride Despa dari Universitas Lampung melakukan penelitian mengenai analisis kontingensi jaringan sistem 12 bus dengan menggunakan model bertingkat. Pada penelitian ini ia mencoba menganalisis kemungkinan *blackout* pada sistem dengan memperhitungkan beban yang naik (D) pada sistem yang mengakibatkan terjadinya *overload* pada sistem dengan kenaikan beban (P) setelah terjadinya pelepasan saluran. Nilai dari D dan P pada model dinormalisasi dengan *range* [0,1] sehingga membentuk variable peluang d dan p . Penelitian ini disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB, dan hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem akan mengalami *blackout* total pada $D=0,49$ dengan tingkat pelepasan tujuh tingkat [4].

Dalam jurnal lain, Kiran Kumar Patra dari Capital Engineering College Bhubaneswar melakukan penelitian untuk memeriksa *real time security* sistem tenaga listrik. Penelitian tersebut menggunakan dua indeks performa yaitu *active power index (PIp)* dan *reactive power index (PIv)* pada sistem 25 bus IEEE dengan menggunakan metode aliran daya. Penelitian ini menggunakan

iterasi *Newton Raphson* (NR). Penerapan metode *Newton Raphson* menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk mendapat solusi persamaan aliran beban. Dari perhitungan yang telah dilakukan dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa kecil kemungkinan terjadi gangguan pada sistem [5].

Berbeda dari penelitian sebelumnya, Yousu Chen, Kurt Glaesemen, dan Erin Fitzhenry dari Pacific Northwest National Laboratory melakukan penelitian analisis kontingensi pada sistem ESCA 60 bus dan diterapkan pada Western Electricity Coordinating Council Planning System. Metode yang digunakan adalah *parallel post processing techniques*, dimana metode ini dapat menganalisa keluaran dari kontingensi analisis lebih cepat dan menampilkan hasilnya pada alat visual berbasis *web*. Metode yang digunakan dikembangkan untuk melakukan analisis kontingensi berskala besar dan keluarannya berupa informasi yang dapat dimengerti dengan mudah oleh para teknisi [6].

Jadi, dari beberapa ringkasan studi literatur, metode *bounding* dipilih untuk menyelesaikan permasalahan analisis kontingensi yang diuji coba pada sistem IEEE 14 bus dengan 20 saluran dalam skripsi ini. Hal ini dikarenakan metode *bounding* berdasar pada aliran daya DC yang mana tidak mempertimbangkan daya reaktif, hanya daya aktif saja. Kelebihan aliran daya DC diataranya adalah dapat digunakan untuk untuk analisis ketahanan, perhitungan yang lebih sederhana, dan proses pengerjaan lebih cepat. Selain itu metode *bounding* membagi sistem tenaga menjadi tiga subsistem sehingga mempermudah kita untuk mengidentifikasi saluran yang dapat mengalami kelebihan beban tanpa harus menghitung keseluruhan sistem.

2.2 Tinjauan Teori

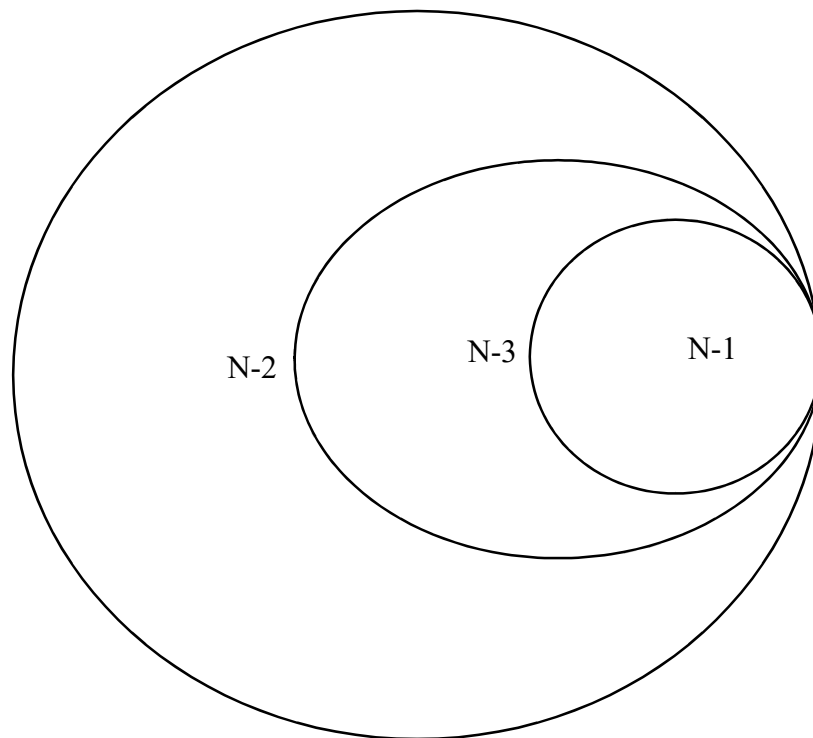
2.2.1 Analisis Kontingensi

Analisis kontingensi adalah analisis aliran daya setelah terjadi gangguan yang mengakibatkan unit pembangkit atau saluran transmisi terlepas. Prosedur analisis kontingensi memodelkan satu kejadian kegagalan, yaitu *line outage*, generator *outage*, atau banyak kejadian kegagalan. Misalnya, kegagalan pada dua saluran transmisi, kegagalan pada satu saluran transmisi, atau pada satu generator, dan lain-lain. Untuk setiap *outage* yang di uji, prosedur analisis kontingensi akan mengamati semua saluran dan tegangan di jaringan kemudian membandingkan dengan batas operasi. Bagian yang menjadi perhatian dalam analisis kontingensi adalah kecepatan solusi yang digunakan dan bagian yang paling sulit dilakukan adalah menentukan *outage* yang layak dianalisis.

2.2.2 Metode *Bounding*

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah analisis kontingensi adalah metode *bounding*. Metode *bounding* adalah metode yang menggunakan wilayah yang disesuaikan di sekitar *outage* untuk menyelesaikan permasalahan *outage* yang dapat menyebabkan sistem mengalami kelebihan beban. Metode ini diterapkan pada aliran daya DC linear dengan tidak mempertimbangkan daya reaktif. Untuk melakukan analisis dengan menggunakan metode *bounding*, sistem tenaga dibagi menjadi tiga subsistem, yaitu:

1. N-1 = subsistem yang melingkupi saluran yang akan dilepas (*outage*)
2. N-2 = subsistem eksternal yang tidak dibahas secara rinci
3. N-3 = beberapa bus yang membatasi N-1 dan N-2



Gambar 2.1 Wilayah dari Metode *Bounding*.

Untuk memulai perhitungan analisis kontingensi dengan menggunakan metode *bounding*, pertama-tama kita harus menghitung nilai dari Δf_{pq}^{max} dan $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$. Nilai dari Δf_{pq}^{max} dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1) berikut:

$$\Delta f_{pq}^{max} = \text{Batas daya} - f_{pq}^o \quad (2.1)$$

Dimana,

Δf_{pq}^{max} = perubahan aliran daya maksimum

Batas daya = batas daya maksimum pada saluran pq dalam (pu)

f_{pq}^0 = aliran daya pada saluran dalam (pu)

Kemudian setelah menghitung nilai Δf_{pq}^{max} , selanjutnya adalah menghitung nilai dari $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$ yang dapat dihitung dari Persamaan (2.2) berikut:

$$\Delta f_{pq}^{max} x_{pq} = \Delta f_{pq}^{max} * x_{pq} \quad (2.2)$$

Dimana,

Δf_{pq}^{max} = perubahan aliran daya maksimum (pu)

x_{pq} = reaktansi saluran dalam (pu)

Nilai dari $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$ adalah sama dengan nilai $|\Delta\theta_p - \Delta\theta_q|$ yang mana nilai tersebut merupakan nilai batasan untuk memastikan saluran pada wilayah N-2 aman saat sistem mengalami gangguan.

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai θ setiap bus. Nilai θ nantinya akan digunakan untuk menghitung aliran daya awal pada saluran (f_{pq}^0). Untuk menghitung nilai θ , ditunjukkan pada Persamaan (2.3) berikut:

$$\theta = [X]P \quad (2.3)$$

Dimana,

θ = sudut fasa tegangan pada bus

[X] = invers dari matriks B' (pu)

P = daya bus (pu)

Nilai matriks X adalah *invers* dari matriks B' yang mana matriks tersebut adalah matriks 14x14 yang nilainya dihitung dari banyaknya saluran yang ada pada suatu sistem. Kemudian dikalikan dengan daya (P) yang diambil dari data sistem IEEE 14 bus.

Setelah mendapatkan nilai θ , langkah selanjutnya adalah menghitung nilai aliran daya pada saluran (f_{pq}^0). Untuk menghitung nilai aliran daya, digunakan Persamaan (2.4) dibawah ini:

$$f_{pq}^0 = \frac{1}{x_{pq}} (\theta_p - \theta_q) \quad (2.4)$$

Dimana,

f_{pq}^0 = aliran daya dari bus p ke bus q sebelum kontingensi

x_{ik} = reaktansi saluran (pu)

θ_p = sudut fasa tegangan pada bus p (pu)

θ_q = sudut fasa tegangan pada bus q (pu)

Setelah nilai aliran daya ditemukan, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai $\delta_{i,nm}$. Nilai dari $\delta_{i,nm}$ digunakan untuk mencari nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$. Persamaan (2.5) menunjukkan rumus mencari nilai $\delta_{i,nm}$:

$$\delta_{i,nm} = \frac{(X_{in} - X_{im})x_k}{x_k - (X_{nn} + X_{mm} - 2X_{nm})} \quad (2.5)$$

Dimana,

$\delta_{i,nm}$ = faktor sensitivitas

X_{in} = nilai matrix X baris ke i dan kolom ke n

X_{im} = nilai matrix X baris ke i dan kolom ke m

X_{nn} = nilai matrix X bus baris ke n dan kolom ke n

X_{mm} = nilai matrix X bus baris ke m dan kolom ke m

x_k = reaktansi saluran (pu)

Setelah nilai $\delta_{i,nm}$ ditemukan, langkah selanjutnya adalah mencari nilai $\Delta\theta_i$ dan $\Delta\theta_j$. Nantinya pengurangan dari nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ yang akan dibandingkan dengan nilai $|\Delta\theta_p - \Delta\theta_q|$. Untuk mencari nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ digunakan Persamaan (2.6) dibawah ini:

$$\delta_{i,nm} = \frac{\Delta\theta_i}{P_{ik}} \quad (2.6)$$

Dimana,

$\Delta\theta_i$ = perubahan pada sudut fasa tegangan pada bus

$\delta_{i,nm}$ = faktor sensitifitas

P_{ik} = aliran daya saluran (pu)

Selanjutnya nilai $\Delta\theta_i$ dan $\Delta\theta_j$ yang telah dihitung dikurangi, hasil dari pengurangan tersebut akan dibandingkan dengan nilai $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$. Jadi untuk memastikan bahwa wilayah N-1 dan N-3 merupakan wilayah yang meliputi semua kemungkinan terjadinya kelebihan beban nilai dari $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ harus lebih kecil dari nilai terkecil dari $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$ seluruh saluran dari sistem. Jika

kondisi ini gagal terpenuhi, wilayah dari N-1 harus diperluas dan menghitung lagi nilai dari $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ pada wilayah N-3 yang baru, dan melakukan pengujian ulang. Ketika wilayah dari N-2 dipastikan aman dari kelebihan beban setelah dilakukan pengetesan ulang, pengujian dinyatakan selesai dan hanya wilayah pada N-1 saja yang perlu untuk dipelajari lebih rinci.

2.2.3 Faktor Sensitivitas linear

Setelah melakukan perhitungan metode *bounding* dan mendapatkan saluran yang dapat mengalami kelebihan beban, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai aliran daya setelah pelepasan beban dan membandingkan hasilnya apakah masih sesuai dengan batas operasi atau tidak untuk membuktikan metode *bounding* berhasil diterapkan pada sistem dengan menggunakan faktor sensitivitas linear. Faktor sensitivitas linear (*linear sensitivity factors*) adalah salah satu cara untuk melakukan analisis *power system security*. Faktor ini mengindikasikan seberapa besar perubahan aliran daya di saluran-saluran transmisi yang tersisa akibat lepasnya unit pembangkit atau lepasnya saluran transmisi pada sistem [2]. Factor sensitivitas linear dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

1. Faktor pergeseran unit pembangkit (*generation shift factor/GSF*)
2. Faktor distribusi pelepasan saluran (*line outage distribution factor/LODF*)

A. Perhitungan GSF

GSF digunakan untuk menghitung efek hilangnya pembangkit pada bus i dan saluran ℓ . Untuk menghitungnya kita harus menentukan nilai $a_{\ell,i}$, maka persamaannya adalah sebagai berikut:

$$a_{\ell,i} = \frac{1}{x_{\ell}} (X_{ni} - X_{mi}) \quad (2.7)$$

Dimana,

x_{ℓ} = reaktansi saluran (pu)

X_{ni} = matriks X bus baris ke n kolom ke i

X_{mi} = matriks X bus baris ke m kolom ke i

B. Perhitungan LODF

LODF menggunakan cara yang hampir sama dengan GSF, hanya saja LODF digunakan untuk menguji kelebihan beban pada saat sistem transmisi mengalami gangguan. Jika saluran k adalah saluran yang menghubungkan bus n dan bus m , dan saluran ℓ adalah saluran yang menghubungkan bus i dan bus j , maka LODF-nya adalah:

$$d_{\ell,k} = \frac{1}{x_{\ell}} (\delta_{i,nm} - \delta_{j,nm}) \quad (2.8)$$

Dimana,

x_{ℓ} = reaktansi saluran (pu)

$\delta_{i,nm}$ = faktor sensitivitas i bus n dan bus m

$\delta_{j,nm}$ = faktor sensitivitas j bus n dan bus m

Setelah nilai LODF dihitung, langkah selanjutnya adalah mencari nilai aliran daya setelah pelepasan beban. Berikut adalah persamaan untuk mencari aliran daya setelah pelepasan beban dari bus p ke bus q :

$$f_{pq}^{nm} = \text{base flow}_{i,j} + d_{\ell,k} * \text{base flow}_{n,m} \quad (2.8)$$

Dimana,

$\text{base flow}_{i,j}$ = aliran daya pada bus i ke bus j sebelum pelepasan beban

$\text{base flow}_{n,m}$ = aliran daya pada bus n dan bus j yang lepas sebelum pelepasan beban

$d_{\ell,k}$ = LODF yang mengindikasikan efek pelepasan beban saluran k terhadap saluran ℓ

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Alur Penelitian

Dalam melakukan skripsi ini, penulis membutuhkan skema penelitian untuk memudahkan dalam melakukan penelitian. Langkah awal dari penelitian ini yaitu membaca studi literatur yang berkaitan dengan topik skripsi. Studi literatur ini digunakan untuk membandingkan beberapa metode yang telah digunakan untuk analisis kontingensi dan mengetahui dasar-dasar dalam analisis kontingensi. Lalu, setelah membandingkan, penulis dapat memilih metode mana yang sesuai dan dapat memecahkan masalah yang diangkat dalam skripsi ini.

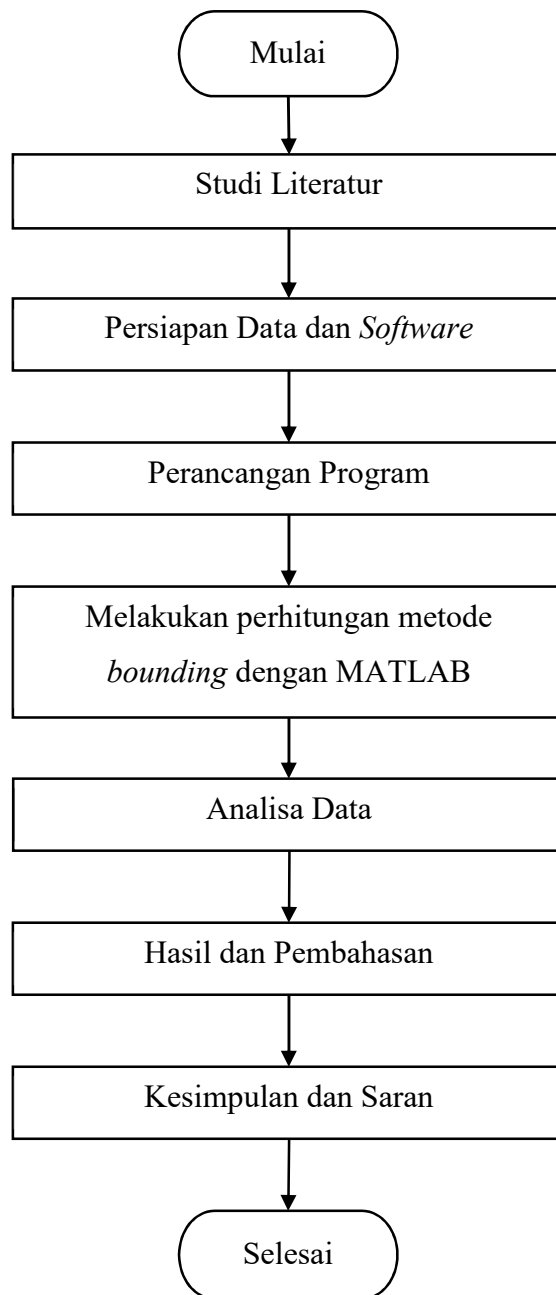
Setelah mengumpulkan dan membaca studi literatur, langkah selanjutnya adalah menyiapkan data yang akan digunakan untuk bahan perhitungan analisis kontingensi dan perangkat lunak (*software*) yang akan digunakan untuk membantu proses komputasi serta perangkat keras (*hardware*) yang mampu menjalankan perangkat lunak yang digunakan penulis.

Dalam permasalahan analisis kontingensi, penulis akan membuat program dengan menggunakan perangkat lunak pembantu MATLAB r2015a. Dalam menyelesaikan permasalahan dalam skripsi ini, dibutuhkan data-data dari sistem tenaga. Data yang digunakan diambil dari sistem IEEE 14 bus yang mana data yang diambil adalah jumlah saluran, reaktansi saluran, batas operasi saluran, dan daya setiap bus. Setelah itu data-data tersebut digunakan untuk menghitung nilai-nilai yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan analisis kontingensi ini, yaitu θ , aliran daya (P), aliran daya awal (f_{pq}^0), $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$, faktor sensitifitas ($\delta_{i,nm}$), $\Delta\theta_i$, dan $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ yang mana semua nilai tersebut dalam satuan per unit (pu). Setelah itu nilai dari $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ dibandingkan dengan nilai $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$, jika nilainya lebih kecil langkah A terpenuhi dan simulasi selesai, jika nilainya lebih besar langkah A tidak terpenuhi dan simulasi dilanjutkan ke langkah B.

Langkah berikutnya setelah melakukan perhitungan dengan MATLAB adalah menentukan saluran mana yang akan dilepas yang mana dalam skripsi ini seluruh saluran akan dilepas satu persatu secara bergantian dengan menerapkan metode *bounding* dan menganalisa hasil simulasi yang dilakukan, apakah hasil simulasi sesuai dengan apa yang diharapkan yaitu mengetahui saluran mana yang akan mengalami kelebihan beban pada saat salah satu saluran dilepas atau tidak.

Langkah terakhir dalam skripsi ini adalah menarik kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan, dimana kesimpulan berisi rangkuman dari hasil analisa yang dianggap penting dalam penelitian dan saran merupakan masukan dari penulis yang ditujukan untuk penelitian

selanjutnya yang belum dilakukan oleh penulis. Penjelasan dari skema penelitian diatas digambarkan pada Gambar 3.1 dibawah ini yang merupakan diagram alir penelitian:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.2 Perancangan Simulasi Analisis Kontingensi dengan metode *Bounding*

Dalam melakukan penelitian ini penulis menggunakan bantuan perangkat lunak MATLAB untuk melakukan komputasi metode *bounding*. Metode *bounding* adalah metode yang menggunakan wilayah yang disesuaikan disekitar *outage* untuk menyelesaikan permasalahan *outage* yang dapat menyebabkan sistem mengalami kelebihan beban. Metode ini diterapkan pada

aliran daya DC linear dengan tidak mempertimbangkan daya reaktif. Untuk melakukan analisis dengan menggunakan metode *bounding*, sistem tenaga dibagi menjadi tiga subsistem, yaitu:

1. N-1 = subsistem yang melingkupi saluran yang akan dilepas (*outage*).
2. N-2 = subsistem eksternal yang tidak dibahas secara rinci.
3. N-3 = beberapa bus yang membatasi N-1 dan N-2.

Untuk memulai perhitungan analisis kontingensi dengan menggunakan metode *bounding*, pertama-tama kita harus menghitung nilai dari Δf_{pq}^{max} dan $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$. Nilai dari Δf_{pq}^{max} dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.1) berikut:

$$\Delta f_{pq}^{max} = \text{Batas daya} - f_{pq}^0 \quad (3.1)$$

Kemudian setelah menghitung nilai Δf_{pq}^{max} , selanjutnya adalah menghitung nilai dari $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$ yang dapat dihitung dari Persamaan (3.2) berikut:

$$\Delta f_{pq}^{max} x_{pq} = \Delta f_{pq}^{max} * x_{pq} \quad (3.2)$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai θ setiap bus. Nilai θ nantinya akan digunakan untuk menghitung aliran daya pada saluran (f_{pq}^0). Untuk menghitung nilai θ , ditunjukkan pada Persamaan (3.3) berikut:

$$\theta = [X]P \quad (3.3)$$

Setelah mendapatkan nilai θ , langkah selanjutnya adalah menghitung nilai aliran daya pada saluran (f_{pq}^0). Untuk menghitung nilai aliran daya, digunakan Persamaan (3.4) dibawah ini:

$$f_{pq}^0 = \frac{1}{x_{pq}} (\theta_p - \theta_q) \quad (3.4)$$

Selanjutnya setelah nilai aliran daya ditemukan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai $\delta_{i,nm}$. Nilai dari $\delta_{i,nm}$ digunakan untuk mencari nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$. Persamaan (3.5) menunjukkan rumus mencari nilai $\delta_{i,nm}$:

$$\delta_{i,nm} = \frac{(X_{in} - X_{im})x_k}{x_k - (X_{nn} + X_{mm} - 2X_{nm})} \quad (3.5)$$

Setelah nilai $\delta_{i,nm}$ ditemukan, langkah selanjutnya adalah mencari nilai $\Delta\theta_i$ dan $\Delta\theta_j$. Nantinya pengurangan dari nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ yang akan dibandingkan dengan nilai $|\Delta\theta_p - \Delta\theta_q|$. Untuk mencari nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ digunakan persamaan 2.6 dibawah ini:

$$\delta_{i,nm} = \frac{\Delta\theta_i}{P_{ik}} \quad (3.6)$$

Selanjutnya nilai $\Delta\theta_i$ dan $\Delta\theta_j$ yang telah dihitung dikurangi, hasil dari pengurangan tersebut akan dibandingkan dengan nilai $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$. Jika step A gagal terpenuhi, lakukan step B yang mana wilayah dari N-1 harus diperluas dan menghitung lagi nilai dari $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ pada wilayah N-3 yang baru, dan melakukan pengujian ulang. Ketika wilayah dari N-2 dipastikan aman dari kelebihan beban setelah dilakukan pengetesan ulang, pengujian dinyatakan selesai dan hanya wilayah pada N-1 saja yang perlu untuk dipelajari lebih rinci. Semua perhitungan dalam metode ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB r2015a.

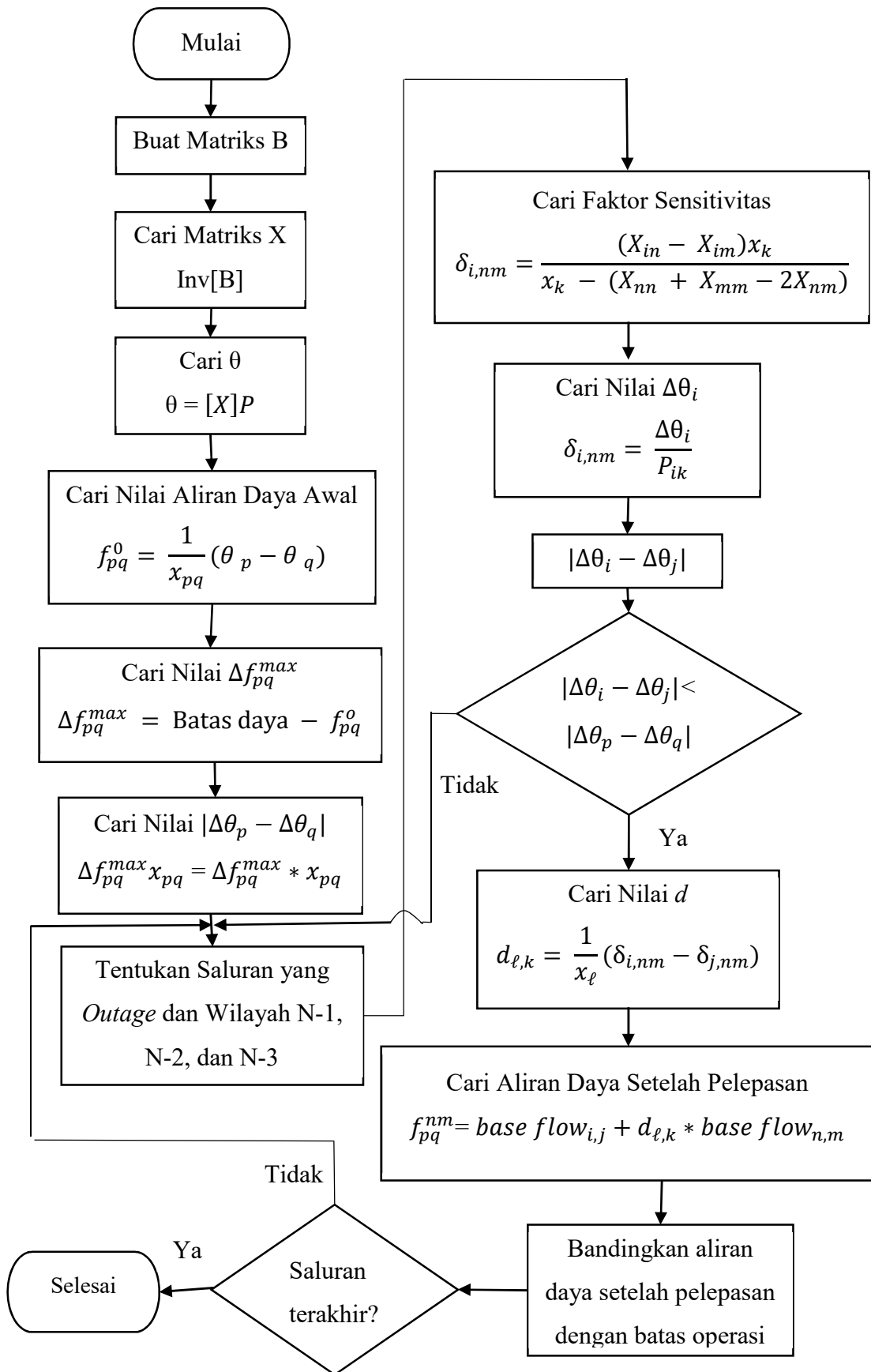
Setelah melakukan pengujian analisis kontingensi dengan metode *bounding*, langkah selanjutnya adalah mencari nilai LODF. Nilai LODF digunakan untuk menguji kelebihan beban pada saat sistem transmisi mengalami gangguan. Jika saluran k adalah saluran yang menghubungkan bus n dan bus m , dan saluran ℓ adalah saluran yang menghubungkan bus i dan bus j , maka LODF-nya adalah:

$$d_{\ell,k} = \frac{1}{x_{\ell}} (\delta_{i,nm} - \delta_{j,nm}) \quad (3.7)$$

Setelah nilai LODF dihitung, langkah selanjutnya adalah mencari nilai aliran daya setelah pelepasan beban. Berikut adalah persamaan untuk mencari aliran daya setelah pelepasan beban dari bus p ke bus q :

$$f_{pq}^{nm} = base\ flow_{i,j} + d_{\ell,k} * base\ flow_{n,m} \quad (3.8)$$

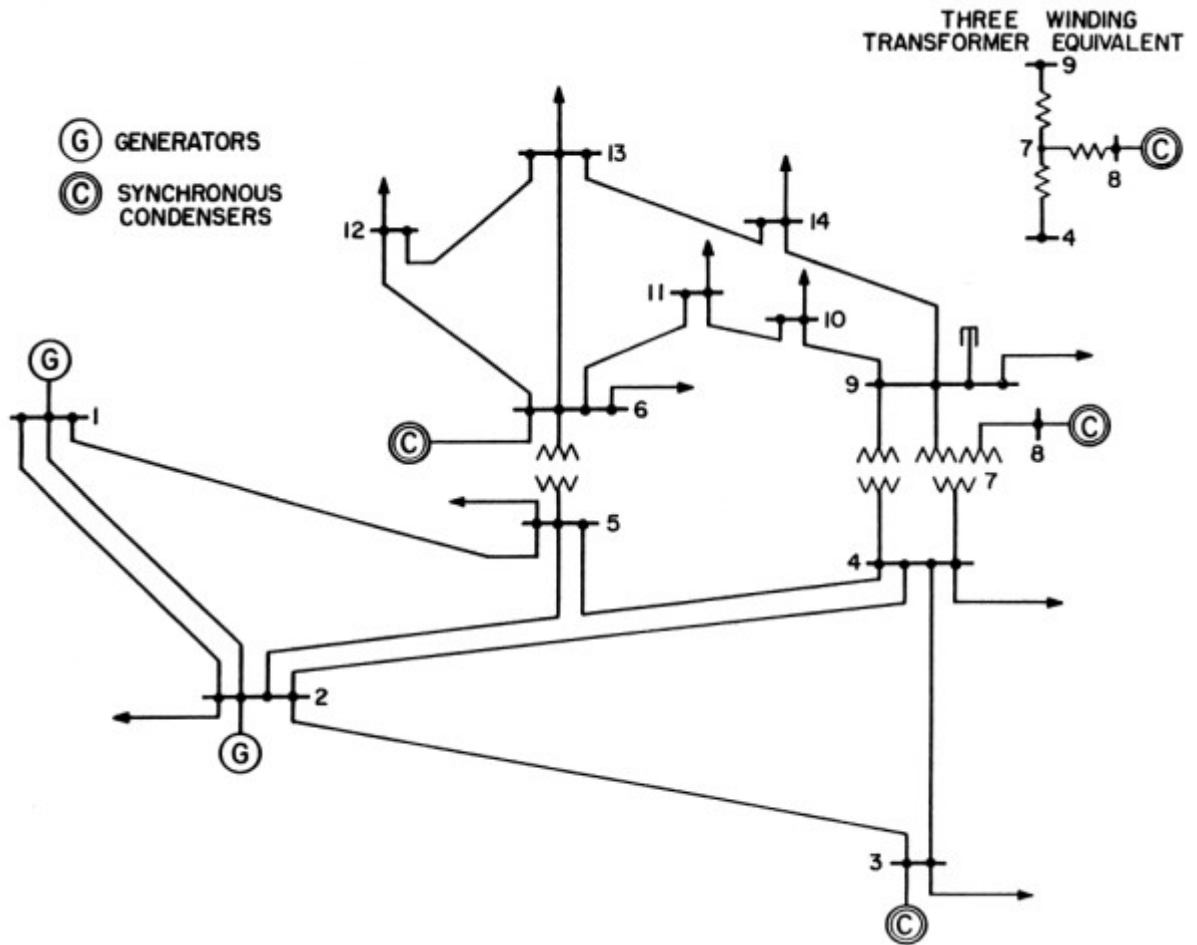
Pada penelitian ini, nilai LODF digunakan untuk menghitung aliran daya setelah pelepasan untuk membuktikan hanya wilayah N-1 dan N-3 yang mengalami kelebihan beban saat terjadi gangguan yang mengakibatkan lepasnya saluran. Gambar 3.3 menunjukkan diagram alir metode *bounding*:



Gambar 3.2 Diagram Alir Analisis Kontingensi dengan Metode *Bounding*

3.3 Data Sistem IEEE 14 Bus

Pada penelitian ini, penulis menggunakan parameter dari data sistem IEEE 14 bus dengan 20 saluran dengan *base* 100 MVA. Gambar 3.4 menunjukkan data dari sistem IEEE 14 bus:



Gambar 3.3 *Single Line Diagram* Sistem IEEE 14 bus.

Selanjutnya, Tabel 3.1 menunjukkan data saluran sistem IEEE 14 bus yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 3.1 Data Saluran Sistem IEEE 14 Bus.

No. Saluran	Dari bus	Ke bus	Rekatansi (pu)	Batas Operasi
1	1	1	0.0591	120
2	2	1	0.2230	65
3	3	2	0.1979	36
4	4	2	0.1763	65
5	5	2	0.1738	50
6	6	3	0.1710	65
7	7	4	0.0421	45
8	8	4	0.2091	55

Table 3.1 Data Saluran Sistem IEEE 14 Bus (Lanjutan).

No. Saluran	Dari bus	Ke bus	Rekatansi (pu)	Batas Operasi
9	9	4	0.5561	32
10	10	5	0.2520	45
11	11	6	0.1989	18
12	12	6	0.2558	32
13	13	6	0.1302	32
14	14	7	0.1761	32
15	15	7	0.1100	32
16	16	9	0.0845	32
17	17	9	0.2703	32
18	18	10	0.1920	12
19	19	12	0.1998	12
20	20	13	0.3480	12

Tabel 3.2 menunjukkan data bus sistem IEEE 14 bus yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 3.2 Data Bus Sistem IEEE 14 Bus.

Bus	Generator		Beban	
	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
1	114,17	-16,9	0	0
2	40	0	21,7	12,7
3	0	0	94,2	19,1
4	0	0	47,8	-3,9
5	0	0	7,6	1,6
6	0	0	11,2	7,5
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	29,5	16,6
10	0	0	9,0	5,8
11	0	0	3,5	1,8
12	0	0	6,1	1,6
13	0	0	13,8	5,8
14	0	0	14,9	5,0

3.4 Metode Analisis

Pada penelitian ini penulis melakukan analisis kontingensi pada sistem IEEE 14 bus dengan menggunakan metode *bounding*. Hal yang akan dianalisis adalah saluran mana saja yang akan mengalami kelebihan beban pada saat gangguan terjadi pada sistem. Pada penelitian ini gangguan yang diberikan adalah lepasnya saluran dari saluran 1 sampai 20 secara bergantian untuk melihat pengaruh pelepasan saluran yang terjadi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan metodologi yang telah dirancang pada BAB 3 yang diimplementasikan pada sistem IEEE 14 bus pada penelitian ini, akan dibahas saluran mana saja yang akan mengalami kelebihan beban pada saat saluran 1 sampai saluran 20 dilepas secara bergantian dengan menggunakan metode *bounding* yang perhitungannya menggunakan perangkat lunak MATLAB.

4.1 Hasil Perhitungan Metode *Bounding*

Setelah melakukan perhitungan analisis kontingensi dengan metode *bounding* menggunakan perangkat lunak MATLAB, didapatkan hasil dari pengujian saluran yang mengalami kelebihan beban pada saat terjadi pelepasan pada salah satu saluran. Nilai dari $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$ dari sistem IEEE 14 bus adalah 0,0091 pada saluran tujuh. Tabel 4.1 menunjukkan data saluran setelah analisis dengan metode *bounding*:

Tabel 4.1 Hasil Analisis Kontingensi dengan Metode *Bounding*

No.	Saluran yang Lepas			N-1	N-3	$ \Delta\theta_i - \Delta\theta_j $ Step A	$ \Delta\theta_i - \Delta\theta_j $ Step B
	No. Saluran	Dari Bus	Ke Bus				
1	1	1	2	Saluran 1	Saluran 7	0.0143	0.0009
2	2	1	5	Saluran 2	Saluran 2	0.0002	-
3	3	2	3	Saluran 3	Saluran 7	0.1157	0.0009
4	4	2	4	Saluran 4	Saluran 4	0.0013	-
5	5	2	5	Saluran 5	Saluran 5	0.0024	-
6	6	3	4	Saluran 6	Saluran 5	0.1166	0.0024
7	7	4	5	Saluran 7	Saluran 7	0.0009	-
8	8	4	7	Saluran 8	Saluran 18	0.0129	0.0035
9	9	4	9	Saluran 9	Saluran 9	5.7395×10^{-5}	-
10	10	5	6	Saluran 10	Saluran 10	2.9899×10^{-5}	-
11	11	6	11	Saluran 11	Saluran 11	0.0003	-
12	12	6	12	Saluran 12	Saluran 12	0.0013	-
13	13	6	13	Saluran 13	Saluran 7	0.0136	0.0009
14	14	7	8	Saluran 14	Saluran 14	0.0005	-
15	15	7	9	Saluran 15	Saluran 7	0.0342	0.0009

Table 4.1 Hasil Analisis Kontingensi dengan Metode *Bounding* (lanjutan)

No.	Saluran yang Lepas			N-1	N-3	$ \Delta\theta_i - \Delta\theta_j $ Step A	$ \Delta\theta_i - \Delta\theta_j $ Step B
	No. Saluran	Dari Bus	Ke Bus				
16	16	9	10	Saluran 16	Saluran 7	0.0249	0.0009
17	17	9	14	Saluran 17	Saluran 7	0.0150	0.0009
18	18	10	11	Saluran 18	Saluran 18	0.0035	-
19	19	12	13	Saluran 19	Saluran 7	0.0143	0.0009
20	20	13	14	Saluran 20	Saluran 20	0.0027	-

Dari Tabel 4.1 diatas terdapat 11 saluran yang memenuhi kriteria *bounding* langkah A dan sembilan saluran yang tidak memenuhi kriteria langkah A dan harus melanjutkan ke langkah B. Saluran-saluran yang memenuhi kriteria *bounding* langkah A memiliki nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ yang lebih kecil dari $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$ sebesar 0,0091 yang mana kriteria *bounding* terpenuhi dan saluran pada wilayah N-2 dipastikan aman dari kelebihan beban. Saluran-saluran yang tidak memenuhi kriteria *bounding* langkah A dengan kolom berwarna merah memiliki nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ yang lebih besar dari $\Delta f_{pq}^{max} x_{pq}$ sebesar 0,0091 sehingga pengujian dilanjutkan ke langkah B dengan memperluas wilayah N-1 dan menghitung nilai wilayah N-3 yang baru dan pengujian langkah B selesai apabila nilai N-3 sudah memenuhi kriteria. Dengan diperluasnya wilayah N-1 maka kemungkinan saluran yang dapat mengalami kelebihan beban akan semakin banyak.

Setelah analisis kontingensi dengan metode *bounding* selesai, selanjutnya adalah mencari nilai aliran daya setelah pelepasan saluran untuk membuktikan hanya saluran yang berada pada wilayah N-1 dan N-3 saja yang mengalami kelebihan beban pada saat pelepasan saluran dan saluran dalam wilayah N-2 aman. Namun pada pengujian kali ini didapati saluran tiga mengalami kelebihan beban saat sistem dalam kondisi normal, sehingga saluran tiga tidak dimasukkan sebagai kriteria yang menentukan step A berhasil. Berikut adalah lima hasil dari simulasi yang telah dilakukan:

Tabel 4.2 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 4.

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{2-4} out$ (pu)	Subsistem
1	1,2	0,1447	0,1351	N-2
2	0,65	0,0093	0,0098	
3	0,36	0,395	0,398	
4	0,65	0,0193	-	N-1&N-3
5	0,5	0,0372	0,0411	N-2
6	0,65	0,4374	0,4403	

Table 4.2 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 4 (lanjutan).

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{2-4} out$ (pu)	Subsistem
7	0,45	0,2346	0,2251	N-2
8	0,55	0,0563	0,0536	
9	0,32	0,0005	0,0009	
10	0,45	0,0142	0,0092	
11	0,18	0,0103	0,012	
12	0,32	0,0064	0,0049	
13	0,32	0,0644	0,0592	
14	0,32	0,001	0,001	
15	0,32	0,1044	0,1017	
16	0,32	0,0745	0,0728	
17	0,32	0,0451	0,0427	
18	0,12	0,0091	0,0073	
19	0,12	0,0337	0,0322	
20	0,12	0,0282	0,0306	

Tabel 4.2 merupakan hasil simulasi analisis kontingensi metode *bounding* yang wilayah N-1 dan N-3 berada pada saluran empat yang diberi warna kuning dengan nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ sebesar 0,0013. Dengan nilai tersebut pelepasan saluran empat memenuhi kriteria *bounding* step A, sehingga kemungkinan saluran yang akan mengalami kelebihan beban tidak ada. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan aliran daya setelah pelepasan saluran empat, semua saluran masih dalam batas operasi yang aman dengan saluran tujuh mengalami kenaikan beban paling besar. Dengan data diatas, dapat dipastikan 18 saluran pada wilayah N-2 aman dari kelebihan beban.

Tabel 4.3 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 7.

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{4-5} out$ (pu)	Subsistem
1	1,2	0,1447	0,0723	N-2
2	0,65	0,0093	0,0899	
3	0,36	0,395	0,3302	
4	0,65	0,0193	0,1163	
5	0,5	0,0372	0,1653	
6	0,65	0,4374	0,3725	
7	0,45	0,2346	-	N-1&N-3
8	0,55	0,0563	0,0979	N-2
9	0,32	0,0005	0,0244	

Table 4.3 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 7 (lanjutan).

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{4-5} out$ (pu)	Subsistem
10	0,45	0,0142	0,0431	N-2
11	0,18	0,0103	0,0284	
12	0,32	0,0064	0,0022	
13	0,32	0,0644	0,0499	
14	0,32	0,001	0,0010	
15	0,32	0,1044	0,1460	
16	0,32	0,0745	0,1133	
17	0,32	0,0451	0,0719	
18	0,12	0,0091	0,0478	
19	0,12	0,0337	0,0296	
20	0,12	0,0282	0,0014	

Tabel 4.3 merupakan hasil simulasi analisis kontingensi metode *bounding* yang wilayah N-1 dan N-3 berada pada saluran tujuh yang diberi warna kuning dengan nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ sebesar 0.0009. Dengan nilai tersebut pelepasan saluran tujuh memenuhi kriteria *bounding* step A, sehingga kemungkinan saluran yang akan mengalami kelebihan beban tidak ada. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan aliran daya setelah pelepasan saluran tujuh, semua saluran masih dalam batas operasi yang aman dengan saluran lima mengalami kenaikan beban paling besar. Dengan data diatas, dapat dipastikan 18 saluran pada wilayah N-2 aman dari kelebihan beban.

Tabel 4.4 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 11.

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{6-11} out$ (pu)	Subsistem
1	1,2	0,1447	0,1452	N-2
2	0,65	0,0093	0,0096	
3	0,36	0,395	0,3951	
4	0,65	0,0193	0,0195	
5	0,5	0,0372	0,0373	
6	0,65	0,4374	0,4375	
7	0,45	0,2346	0,2342	
8	0,55	0,0563	0,0567	
9	0,32	0,0005	0,0007	
10	0,45	0,0142	0,0142	
11	0,18	0,0103	-	N-1&N-3
12	0,32	0,0064	0,0065	N-2

Table 4.4 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 11 (lanjutan).

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{6-11}out$ (pu)	Subsistem
13	0,32	0,0644	0,0650	N-2
14	0,32	0,001	0,0010	
15	0,32	0,1044	0,1048	
16	0,32	0,0745	0,0752	
17	0,32	0,0451	0,0450	
18	0,12	0,0091	0,0098	
19	0,12	0,0337	0,0339	
20	0,12	0,0282	0,0283	

Tabel 4.4 merupakan hasil simulasi analisis kontingensi metode *bounding* yang wilayah N-1 dan N-3 berada pada saluran 11 yang diberi warna kuning dengan nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ sebesar 0.0003. Dengan nilai tersebut pelepasan saluran 11 memenuhi kriteria *bounding* step A, sehingga kemungkinan saluran yang akan mengalami kelebihan beban tidak ada. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan aliran daya setelah pelepasan saluran 11, semua saluran masih dalam batas operasi yang aman dengan saluran 16 dan 18 mengalami kenaikan beban paling besar. Dengan data diatas, dapat dipastikan 18 saluran pada wilayah N-2 aman dari kelebihan beban.

Tabel 4.5 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 18.

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{10-11}out$ (pu)	Subsistem
1	1,2	0,1447	0,1438	N-2
2	0,65	0,0093	0,0089	
3	0,36	0,395	0,3948	
4	0,65	0,0193	0,0188	
5	0,5	0,0372	0,0369	
6	0,65	0,4374	0,4371	
7	0,45	0,2346	0,2353	
8	0,55	0,0563	0,0554	
9	0,32	0,0005	$2,2031 \times 10^{-5}$	
10	0,45	0,0142	0,0141	
11	0,18	0,0103	0,0119	
12	0,32	0,0064	0,0060	
13	0,32	0,0644	0,0631	
14	0,32	0,001	0,0010	
15	0,32	0,1044	0,1035	

Table 4.5 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 18 (lanjutan).

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{10-11} out$ (pu)	Subsistem
16	0,32	0,0745	0,0729	N-2
17	0,32	0,0451	0,0454	
18	0,12	0,0091	-	N-1&N-3
19	0,12	0,0337	0,0334	N-2
20	0,12	0,0282	0,0280	

Tabel 4.5 merupakan hasil simulasi analisis kontingensi metode *bounding* yang wilayah N-1 dan N-3 berada pada saluran 18 yang diberi warna kuning dengan nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ sebesar 0.0036. Dengan nilai tersebut pelepasan saluran 18 memenuhi kriteria *bounding* step A, sehingga kemungkinan saluran yang akan mengalami kelebihan beban tidak ada. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan aliran daya setelah pelepasan saluran 18, semua saluran masih dalam batas operasi yang aman dengan saluran 11 mengalami kenaikan beban paling besar. Dengan data diatas, dapat dipastikan 18 saluran pada wilayah N-2 aman dari kelebihan beban.

Tabel 4.6 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 20.

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{13-14} out$ (pu)	Subsistem
1	1,2	0,1447	0,1477	N-2
2	0,65	0,0093	0,0109	
3	0,36	0,395	0,3956	
4	0,65	0,0193	0,0205	
5	0,5	0,0372	0,0382	
6	0,65	0,4374	0,4380	
7	0,45	0,2346	0,2336	
8	0,55	0,0563	0,0581	
9	0,32	0,0005	0,0015	
10	0,45	0,0142	0,0159	
11	0,18	0,0103	0,0107	
12	0,32	0,0064	0,0066	
13	0,32	0,0644	0,0654	
14	0,32	0,001	0,0010	
15	0,32	0,1044	0,1062	
16	0,32	0,0745	0,0741	
17	0,32	0,0451	0,0484	
18	0,12	0,0091	0,0086	

Table 4.6 Aliran Daya Setelah Pelepasan Saluran 20 (lanjutan).

Saluran	Batas Operasi (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{13-14}out$ (pu)	Subsistem
19	0,12	0,0337	0,0340	N-2
20	0,12	0,0282	-	N-1&N-3

Tabel 4.6 merupakan hasil simulasi analisis kontingensi metode *bounding* yang wilayah N-1 dan N-3 berada pada saluran 20 yang diberi warna kuning dengan nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ sebesar 0.0027. Dengan nilai tersebut pelepasan saluran 20 memenuhi kriteria *bounding* step A, sehingga kemungkinan saluran yang akan mengalami kelebihan beban tidak ada. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan aliran daya setelah pelepasan saluran 18, semua saluran masih dalam batas operasi yang aman dengan saluran 12 mengalami kenaikan beban paling besar. Dengan data diatas, dapat dipastikan 18 saluran pada wilayah N-2 aman dari kelebihan beban.

Dari 5 hasil simulasi yang telah dijelaskan pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.6 membuktikan bahwa metode *bounding* yang diimplementasikan pada sistem IEEE 14 bus dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB berhasil menyelesaikan permasalahan analisis kontingensi dengan baik dan cepat karena saluran pada wilayah N-2 aman dari kelebihan beban. Dengan subsistem yang digunakan metode ini, sangat memudahkan untuk mengidentifikasi saluran yang akan mengalami kelebihan beban saat pelepasan beban terjadi tanpa harus menghitung nilai keseluruhan sistem.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari simulasi yang telah dilakukan pada 20 saluran sistem IEEE 14 bus, terdapat 11 saluran yang sesuai kriteria dengan N-1 dan N-3 berada pada wilayah yang sama dan 9 saluran yang tidak sesuai kriteria dan harus meluaskan wilayah N-1 dan menghitung nilai N-3 yang baru.
2. Setelah dilakukan perhitungan N-3 yang baru pada sembilan saluran yang tidak memenuhi kriteria, saluran pada subsistem N-2 dinyatakan aman dari kelebihan beban karena nilai $|\Delta\theta_i - \Delta\theta_j|$ lebih kecil dari nilai $|\Delta\theta_p - \Delta\theta_q|$ sehingga metode *bounding* berhasil.
3. Saluran yang mengalami kelebihan beban dari hasil perhitungan aliran daya setelah pelepasan beban adalah saluran dalam wilayah N-1 dan N-3. Oleh karena itu metode *bounding* berhasil memecahkan masalah analisis kontingensi dengan baik dan cepat.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya agar bisa menerapkan metode ini untuk sistem transmisi yang ada di Indonesia.
2. Dapat membuat program yang lebih baik dan lebih cepat prosesnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. dan N. Rahmawati, “Analisis kontingensi tenaga listrik dengan metode bounding,” *Rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 2, pp. 92–97, 2012.
- [2] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, and G. B. Sheble, “*Power generation, operation, and control, 2nd Edition*,” 1996.
- [3] D. Fajar, U. Putra, O. Penangsang, and A. Soeprijanto, “Analisis Kontingensi Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat,” *Proceedings Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.*, no. etc., pp. etc, 2007.
- [4] D. Despa, “Analisis Kontingensi Terhadap Probabilitas Blackout Model Bertingkat,” *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 2, no.2, 2008
- [5] K. Kumar Patra, “Contingency Analysis in Power System using Load Flow Solution,” *Int. Conf. Emergent Trends Comput. Commun.*, no. Etc, pp. 1–4, 2015.
- [6] Y. Chen, K. Glaesemann, and E. Fitzhenry, “Contingency Analysis Post-Processing with Advanced Computing and Visualization,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 55–60, 2017.
- [7] V. Brandwajn, “Efficient Bounding Method for Linear Contingency Analysis, ” *IEEE Transactions on Power System*, vol.3, no. 1, pp. 38-43, 1988.

LAMPIRAN

```
clc
clear all

%%//////////Reaktansi saluran//////////%%
x12 = 0.05917;
x15 = 0.22304;
x23 = 0.19797;
x24 = 0.17632;
x25 = 0.17388;
x34 = 0.17103;
x45 = 0.04211;
x47 = 0.20912;
x49 = 0.55618;
x56 = 0.25202;
x611 = 0.1989;
x612 = 0.25581;
x613 = 0.13027;
x78 = 0.17615;
x79 = 0.11001;
x910 = 0.0845;
x914 = 0.27038;
x1011= 0.19207;
x1213= 0.19988;
x1314= 0.34802;

o = 0;

%%OPEN//////////Nilai B' Matrix//////////%%
%bus 2
b22 = (1/x12+1/x23+1/x24+1/x25);
b23 = -(1/x23);
b24 = -(1/x24);
b25 = -(1/x25);

%bus 3
b33 = (1/x23+1/x34);
b34 = -(1/x34);

%bus 4
b44 = (1/x24+1/x34+1/x45+1/x47+1/x49);
b45 = -(1/x45);
b47 = -(1/x47);
b49 = -(1/x49);

%bus 5
b55 = (1/x15+1/x25+1/x45+1/x56);
b56 = -(1/x56);

%bus6
b66 = (1/x56+1/x611+1/x612+1/x613);
b611= -(1/x611);
b612= -(1/x612);
b613= -(1/x613);

%bus7
b77 = (1/x47+1/x78+1/x79);
b78 = -(1/x78);
```



```

b79 = -(1/x79);

%bus8
b88 = (1/x78);

%bus9
b99 = (1/x49+1/x79+1/x910+1/x914);
b910= -(1/x910);
b914= -(1/x914);

%bus10
b1010 = (1/x910+1/x1011);
b1011 = -(1/x1011);

%bus11
b1111 = (1/x611+1/x1011);

%bus12
b1212 = (1/x612+1/x1213);
b1213 = -(1/x1213);

%bus13
b1313 = (1/x613+1/x1314);
b1314 = -(1/x1314);

%bus14
b1414 = (1/x914+1/x1314);

%%CLOSE/////////////////////////////////Nilai B' Matrix/////////////////////////////////%%

%%Matrix
%      2      3      4      5      6      7      8      9      10      11      12      13      14
B = [ b22 b23 b24 b25      o      o      o      o      o      o      o      o      o
      b23 b33 b34      o      o      o      o      o      o      o      o      o      o
      b24 b34 b44 b45      o      b47      o      b49      o      o      o      o      o
      b25      o      b45 b55 b56      o      o      o      o      o      o      o      o
      o      o      o      b56 b66      o      o      o      o      b611 b612 b613      o
      o      o      b47      o      o      b77 b78 b79      o      o      o      o      o
      o      o      o      o      o      b78 b88      o      o      o      o      o      o
      o      o      b49      o      o      b79      o      b99 b910      o      o      o      b914
      o      o      o      o      o      o      o      b910 b1010 b1011      o      o      o
      o      o      o      o      b611      o      o      o      b1011 b1111      o      o      o
      o      o      o      o      b612      o      o      o      o      o      b1212 b1213      o
      o      o      o      o      b613      o      o      o      o      o      b1213 b1313 b1314
      o      o      o      o      o      o      o      b914      o      o      o      b1314 b1414

]

Z = inv(B)

clc
clear all

%% Membuka data matriks B
load('Matrix_X.mat')

%% Membuka data daya
load('Daya_bus.mat')

%% ///////////////////////////////////Perhitungan theta/////////////////////////////////%%

```

```

X = Matrix_X;
p = Daya_bus;

theta = X*p

clc
clear all

%% Load data
%%Membuka tempat hasil
load('Hasil.mat')

%%Membuka daya pada bus
load('Daya_bus_pu.mat')

%%Membuka matriks X
load('Matriks_X_bus.mat')

%%Membuka aliran outage
load('Aliran_outage.mat')

load('Matriks_X')

%%Jumlah saluran pada sistem IEEE 14 bus
jumlahsaluran = 20;

%%OPEN ////////////////////////////////////Perhitungan theta

Theta = abs(Matriks_X*Daya_bus_pu);

%%CLOSE//////////////////////////////////Perhitungan theta

%%OPEN ////////////////////////////////////Perhitungan f0pq
for i=1:jumlahsaluran

    from_bus    = Hasil(i,2);
    to_bus      = Hasil(i,3);
    reaktansi   = Hasil(i,4);

    %Kolom ke 6 adalah nilai dari f0pq
    Hasil(i,6) = (Theta(from_bus) - Theta(to_bus))/(reaktansi);

end

%%CLOSE ////////////////////////////////////Perhitungan f0pq

%%OPEN delta fpq max
for i=1:jumlahsaluran

    reaktansi = Hasil(i,4);
    MWLim    = Hasil(i,5);
    f0pq     = Hasil(i,6);

    %Kolom 7 adalah nilai dari delta fpq max
    deltafpqmax = MWLim - f0pq;
    Hasil(i,7) = deltafpqmax;

```

```

end

%%%CLOSE delta fpq max

%%OPEN delta fpq max xpq
for i=1:jumlahsaluran

    reaktansi = Hasil(i,4);
    deltafpqmax = Hasil(i,7);

    %Kolom 8 adalah nilai dari delta fpq max xpq
    deltafpqmaxXpq = abs(deltafpqmax*reaktansi);
    Hasil(i,8) = deltafpqmaxXpq;

end

%%%CLOSE delta fpq max xpq

%%OPEN
for i=1:jumlahsaluran

    deltafpqmaxXpq = Hasil(:,8);

    %Kolom 9 adalah nilai terkecil dari deltafpqmaxXpq

    mindeltafpqmaxXpq = min(deltafpqmaxXpq);
    Hasil(:,9) = mindeltafpqmaxXpq;

end

%%%CLOSE

%%OPEN
for i=1:jumlahsaluran

    from_bus = Hasil(i,2);
    to_bus = Hasil(i,3);
    reaktansi = Hasil(i,4);

    %Kolom 10 adalah nilai delta theta from bus
    Hasil(i,10) = ((X(from_bus,from_bus)-X(from_bus,to_bus))*reaktansi)...
        /(reaktansi-(X(from_bus,from_bus)+X(to_bus,to_bus)-
        2*X(from_bus,to_bus)));

    %Kolom 11 adalah nilai delta theta to bus
    Hasil(i,11) = ((X(to_bus,from_bus)-X(to_bus,to_bus))*reaktansi)...
        /(reaktansi-(X(from_bus,from_bus)+X(to_bus,to_bus)-X(from_bus,to_bus)));

end

%%%CLOSE

%%OPEN delta theta
for i=1:jumlahsaluran

    f0pq = Hasil(i,6);
    sensitivitas_1 = Hasil(i,10);
    sensitivitas_2 = Hasil(i,11);

```

```

%Kolom ke 12 adalah nilai delta theta 1
Hasil(i,12) = sensitivitas_1*f0pq;

%Kolom ke 13 adalah nilai delta theta 2
Hasil(i,13) = sensitivitas_2*f0pq;

%Kolom ke 14 adalah nilai pengurangan
Hasil(i,14) = abs(Hasil(i,12)-Hasil(i,13));
end

%%%CLOSE

%%OPEN validasi
for i=1:jumlahtsaluran

    mindeltafpqmaxXpq = Hasil(:,9);

    if Hasil(i,14)<mindeltafpqmaxXpq;
        Hasil(i,15) = 1;
    elseif Hasil(i,14)>mindeltafpqmaxXpq;
        Hasil(i,15) = 0;
    end
end

%% OPEN ////////////////////////////////// Penentuan aman tidaknya saluran////////////////////////////////////%%
disp('>>Perhitungan step A (wilayah N-1 dan N-3 sama<<')
disp('>>Nilai ?fpqmaxXpq adalah nilai di kolom 15<<')
disp(' ')

saluran_yang_lepas_N1 = input('- Masukan saluran N-1 yang lepas = saluran ');
saluran_wilayah_N3    = input('- Masukan saluran N-3                = saluran ');

    if Hasil(saluran_wilayah_N3,14)<Hasil(saluran_wilayah_N3,9);
        disp('=>Saluran di subsistem N-2 aman dari overload ')
        program=0;
    else
        disp('=>Saluran di subsistem N-2 mengalami overload lanjutkan ke step
B ')
        program=1;
        disp(' ')
    end

while program==1

    disp('>>Perhitungan step B (wilayah N-3 diperluas)<<')
    disp(' ')
    saluran_yang_lepas_N1 = input('- Masukan saluran N-1 yang lepas = saluran
');
    saluran_wilayah_N3    = input('- Masukan saluran N-3                = saluran
');

    if Hasil(saluran_wilayah_N3,14)<Hasil(saluran_wilayah_N3,9);
        disp('=>Saluran di subsistem N-2 aman dari overload ')
        program=0;
    else
        disp('=>Saluran di subsistem N-2 mengalami overload perluas lagi
wilayah N-3 ')
        program=1;
        disp(' ')
    end
end

```

```

end

for i=1:jumlahtsaluran
    if ~(i==saluran_yang_lepas_N1)

        from_bus_kena          = Hasil(i,2);
        to_bus_kena            = Hasil(i,3);
        reaktansi_lepas       = Hasil(saluran_yang_lepas_N1,4);
        reaktansi_kena        = Hasil(i,4);
        from_bus_lepas        = Hasil(saluran_yang_lepas_N1,2);
        to_bus_lepas          = Hasil(saluran_yang_lepas_N1,3);
        base_flow_kena        = abs(Hasil(i,6));
        base_flow_lepas       = abs(Hasil(saluran_yang_lepas_N1,6));

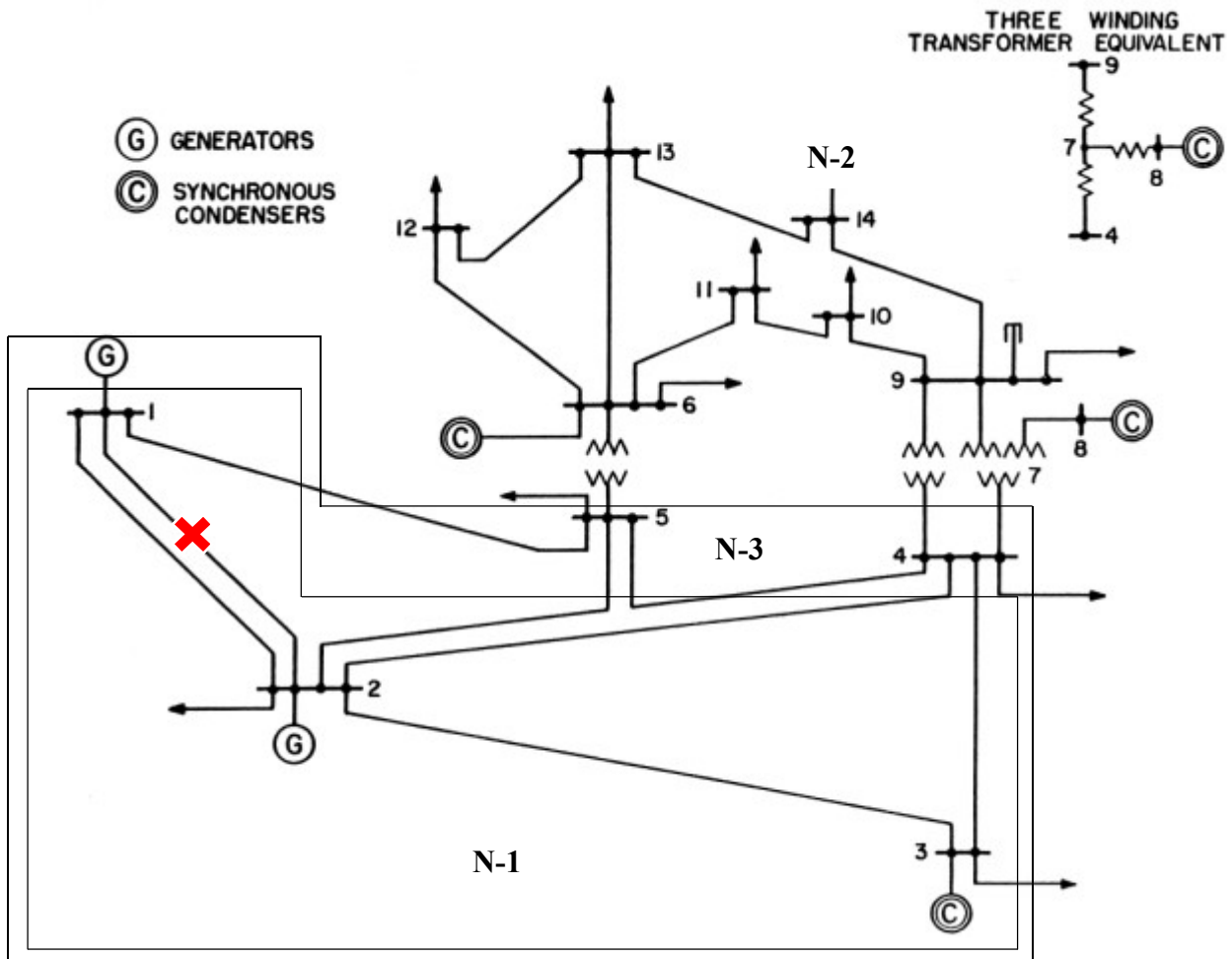
        Hasil(i,16) = (reaktansi_lepas/reaktansi_kena*...
            (X(from_bus_kena,from_bus_lepas)-...
            X(to_bus_kena,from_bus_lepas)-...
            X(from_bus_kena,to_bus_lepas)+...
            X(to_bus_kena,to_bus_lepas)))/(reaktansi_lepas-...
            X(from_bus_lepas,from_bus_lepas)+...
            X(to_bus_lepas,to_bus_lepas)-...
            2*(X(from_bus_lepas,to_bus_lepas)));

        faktor_d              = Hasil(i,16);

        Hasil(i,17) = base_flow_kena + faktor_d*base_flow_lepas;
    end
end

```

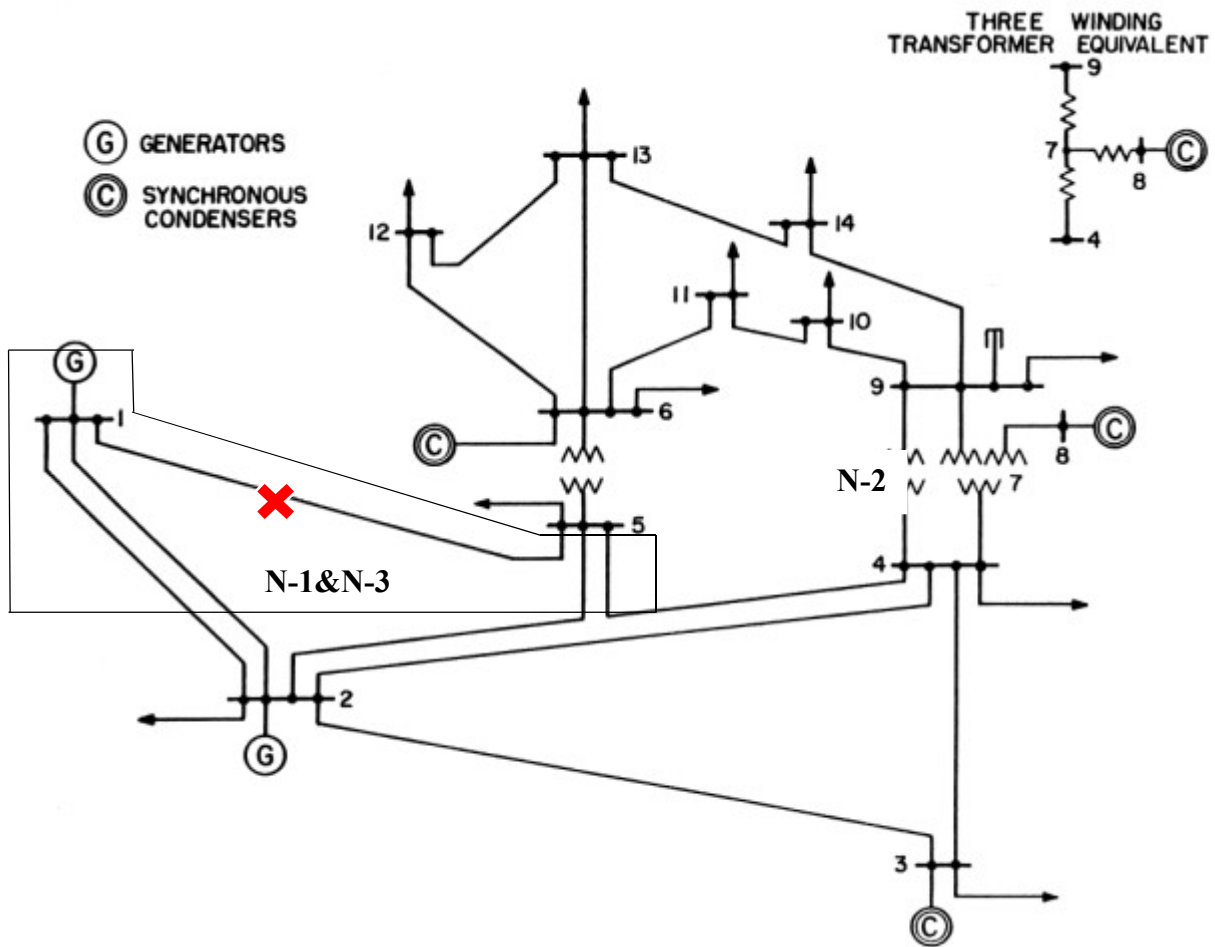
Saluran 1



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{1-2} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0
2	0,65	0,0093	0,0128
3	0,36	0,395	0,3889
4	0,65	0,0193	0,0065
5	0,5	0,0372	0,0227
6	0,65	0,4374	0,4313
7	0,45	0,2346	0,2279
8	0,55	0,0563	0,0485
9	0,32	0,0005	-0,0039
10	0,45	0,0142	-0,0034
11	0,18	0,0103	0,0151
12	0,32	0,0064	0,0014
13	0,32	0,0644	0,0469

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{1-2} out$ (pu)
14	0,32	0,001	0,0010
15	0,32	0,1044	0,0966
16	0,32	0,0745	0,0697
17	0,32	0,0451	0,0378
18	0,12	0,0091	0,0043
19	0,12	0,0337	0,0287
20	0,12	0,0282	0,0355

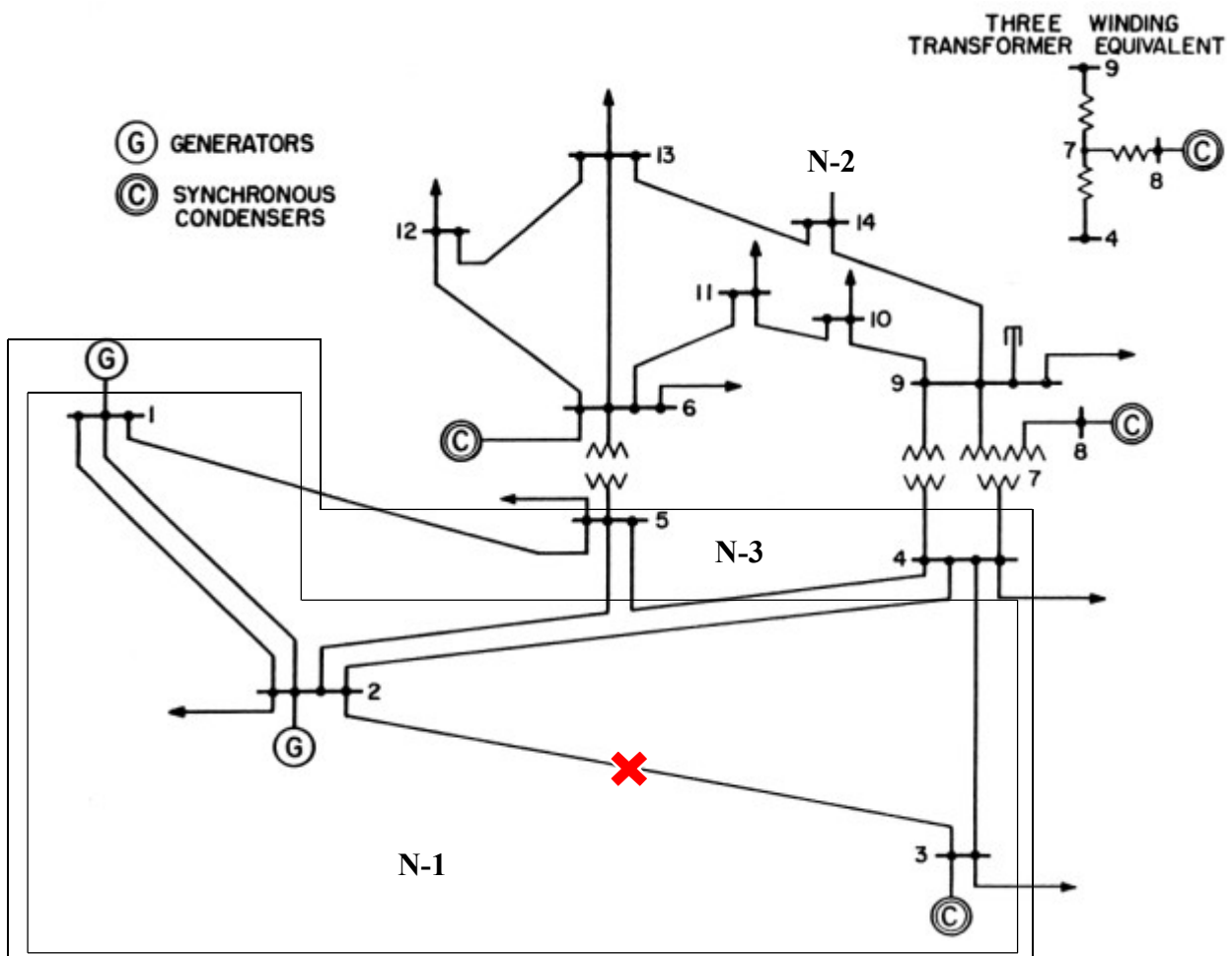
Saluran 2



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{1-5} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1460
2	0,65	0,0093	0
3	0,36	0,395	0.3951
4	0,65	0,0193	0.0195
5	0,5	0,0372	0.0381
6	0,65	0,4374	0.4375

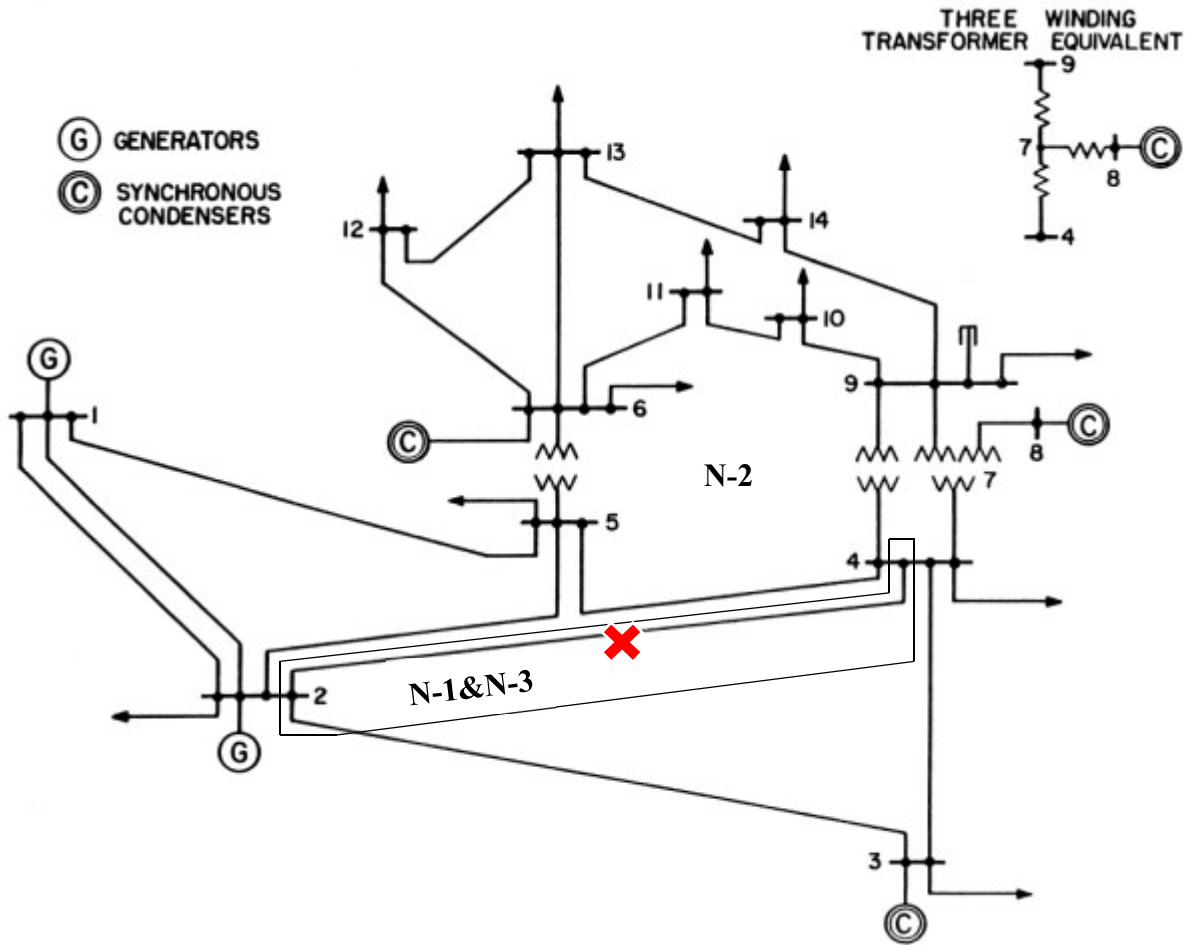
Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{1-5} out$ (pu)
7	0,45	0,2346	0.2372
8	0,55	0,0563	0.0548
9	0,32	0,0005	-0.0003
10	0,45	0,0142	0.0103
11	0,18	0,0103	0.0111
12	0,32	0,0064	0.0053
13	0,32	0,0644	0.0607
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.1029
16	0,32	0,0745	0.0737
17	0,32	0,0451	0.0437
18	0,12	0,0091	0.0082
19	0,12	0,0337	0.0327
20	0,12	0,0282	0.0296

Saluran 3



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{2-3}out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.0668
2	0,65	0,0093	0.0134
3	0,36	0,395	0
4	0,65	0,0193	0.0688
5	0,5	0,0372	0.0690
6	0,65	0,4374	0.2781
7	0,45	0,2346	0.1583
8	0,55	0,0563	0.0350
9	0,32	0,0005	-0.0116
10	0,45	0,0142	-0.0261
11	0,18	0,0103	0.0241
12	0,32	0,0064	-0.0056
13	0,32	0,0644	0.0222
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.0831
16	0,32	0,0745	0.0606
17	0,32	0,0451	0.0256
18	0,12	0,0091	-0.0047
19	0,12	0,0337	0.0217
20	0,12	0,0282	0.0477

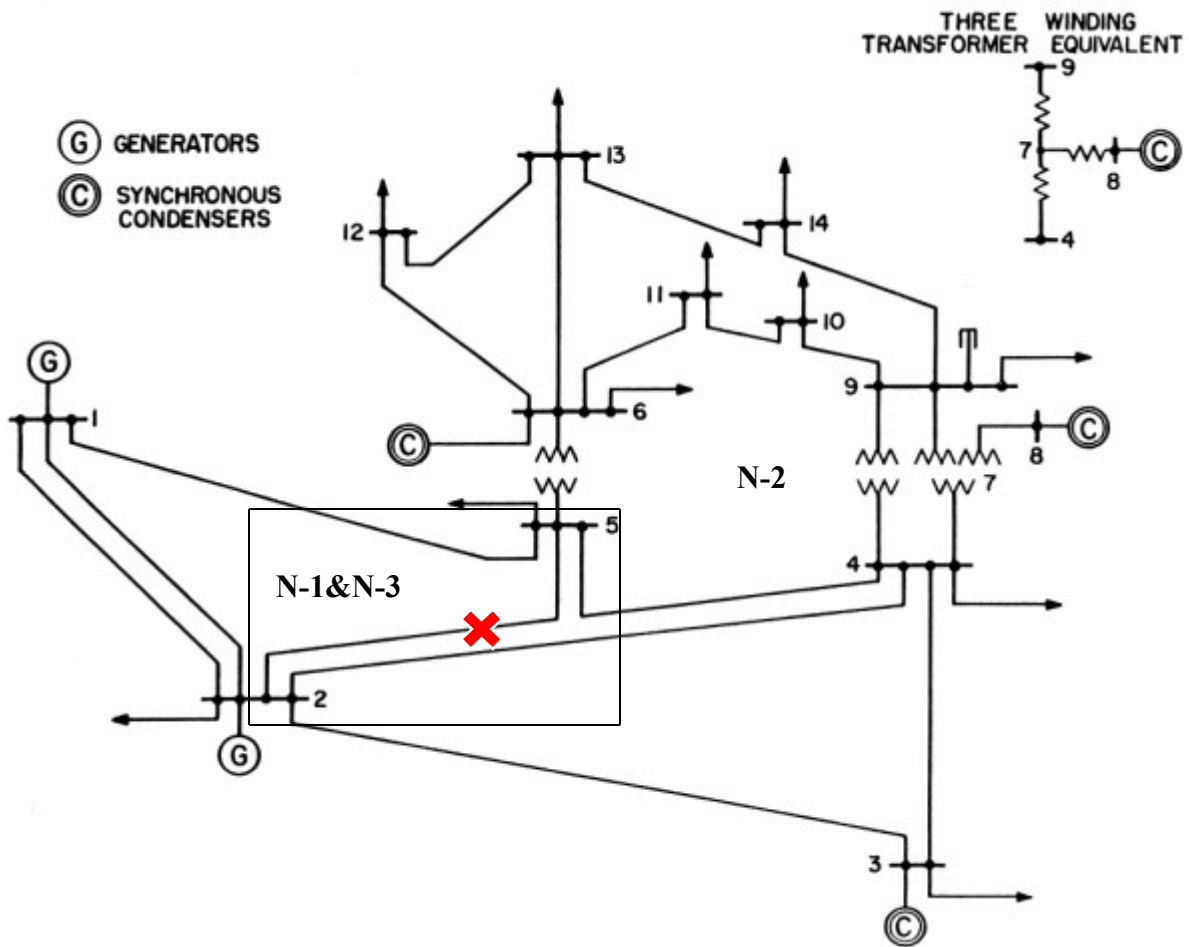
Saluran 4



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{2-4} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1351
2	0,65	0,0093	0.0098
3	0,36	0,395	0.3980
4	0,65	0,0193	0
5	0,5	0,0372	0.0411
6	0,65	0,4374	0.4403
7	0,45	0,2346	0.2251
8	0,55	0,0563	0.0536
9	0,32	0,0005	-0.0009
10	0,45	0,0142	0.0092
11	0,18	0,0103	0.0120
12	0,32	0,0064	0.0049
13	0,32	0,0644	0.0592
14	0,32	0,001	0.0010

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{2-4} out$ (pu)
15	0,32	0,1044	0.1017
16	0,32	0,0745	0.0728
17	0,32	0,0451	0.0427
18	0,12	0,0091	0.0073
19	0,12	0,0337	0.0322
20	0,12	0,0282	0.0306

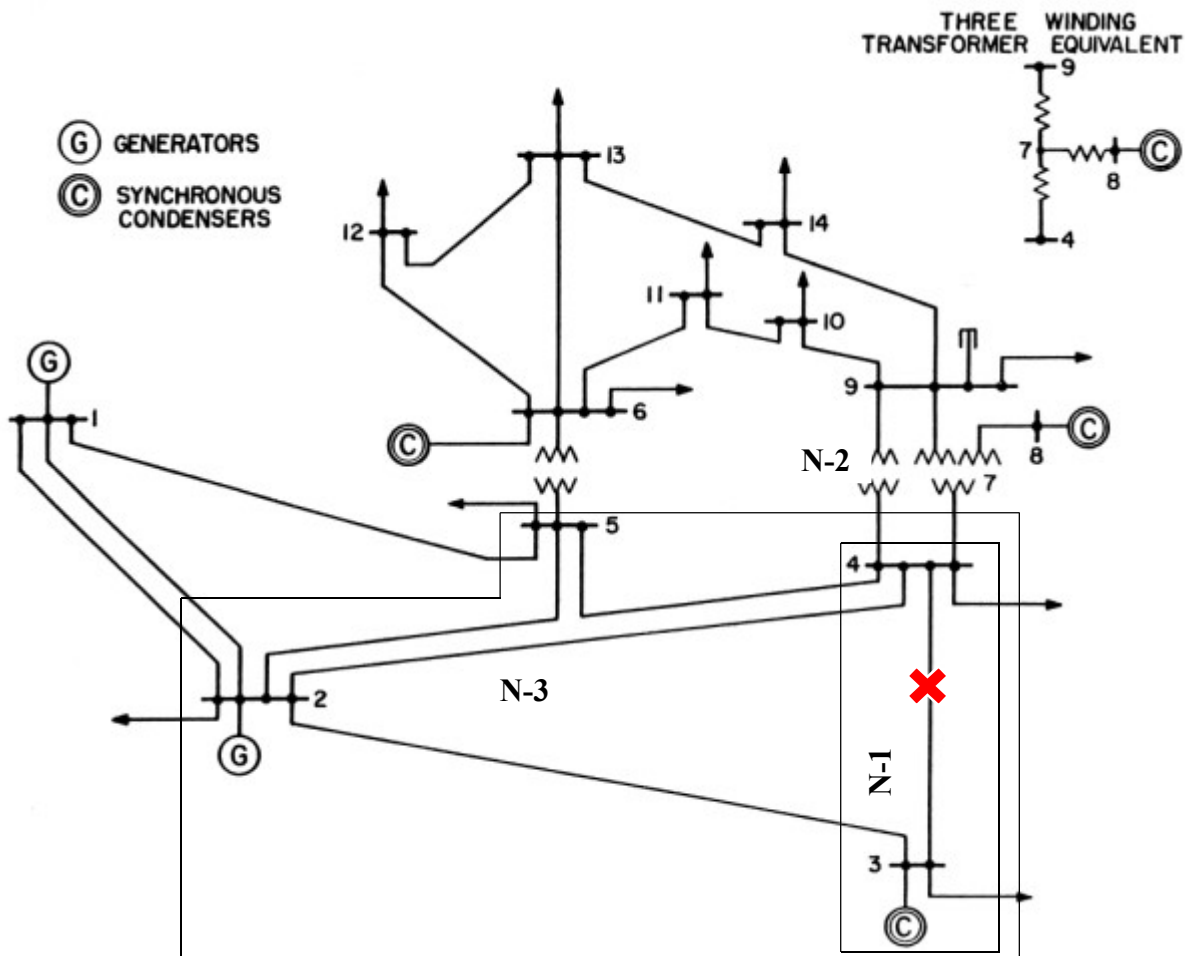
Saluran 5



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{2-5} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1235
2	0,65	0,0093	0.0129
3	0,36	0,395	0.3986
4	0,65	0,0193	0.0268
5	0,5	0,0372	0
6	0,65	0,4374	0.4410

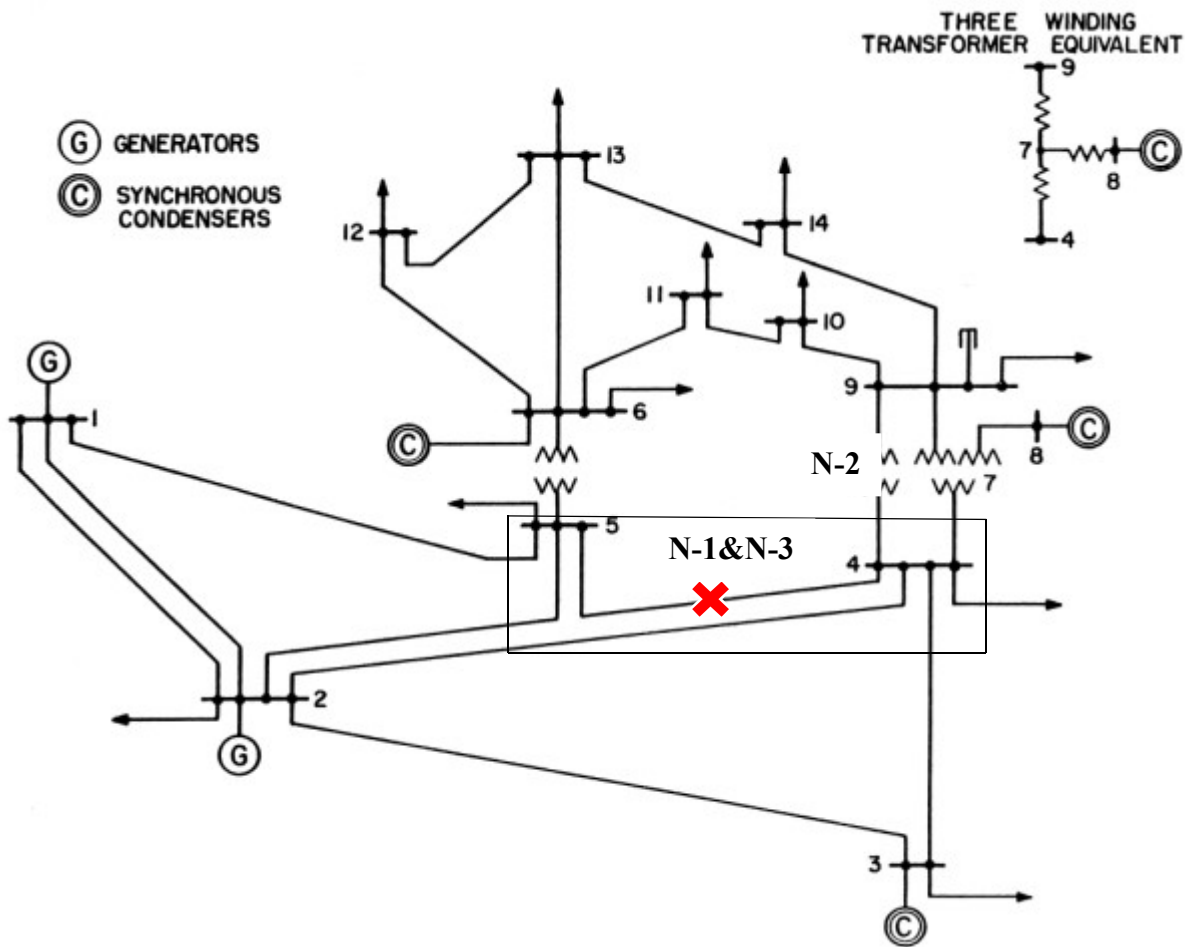
Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{2-5} out$ (pu)
7	0,45	0,2346	0.2517
8	0,55	0,0563	0.0525
9	0,32	0,0005	-0.0016
10	0,45	0,0142	0.0026
11	0,18	0,0103	0.0124
12	0,32	0,0064	0.0033
13	0,32	0,0644	0.0537
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.1006
16	0,32	0,0745	0.0724
17	0,32	0,0451	0.0413
18	0,12	0,0091	0.0070
19	0,12	0,0337	0.0307
20	0,12	0,0282	0.0320

Saluran 6



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{3-4}out$ (pu)
1	1,2	0,1447	-0.2062
2	0,65	0,0093	0.0278
3	0,36	0,395	-0.3222
4	0,65	0,0193	0.2425
5	0,5	0,0372	0.1803
6	0,65	0,4374	0
7	0,45	0,2346	-0.1088
8	0,55	0,0563	-0.0394
9	0,32	0,0005	-0.0544
10	0,45	0,0142	-0.1675
11	0,18	0,0103	0.0728
12	0,32	0,0064	-0.0479
13	0,32	0,0644	-0.1256
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.0086
16	0,32	0,0745	0.0120
17	0,32	0,0451	-0.0429
18	0,12	0,0091	-0.0534
19	0,12	0,0337	-0.0205
20	0,12	0,0282	0.1163

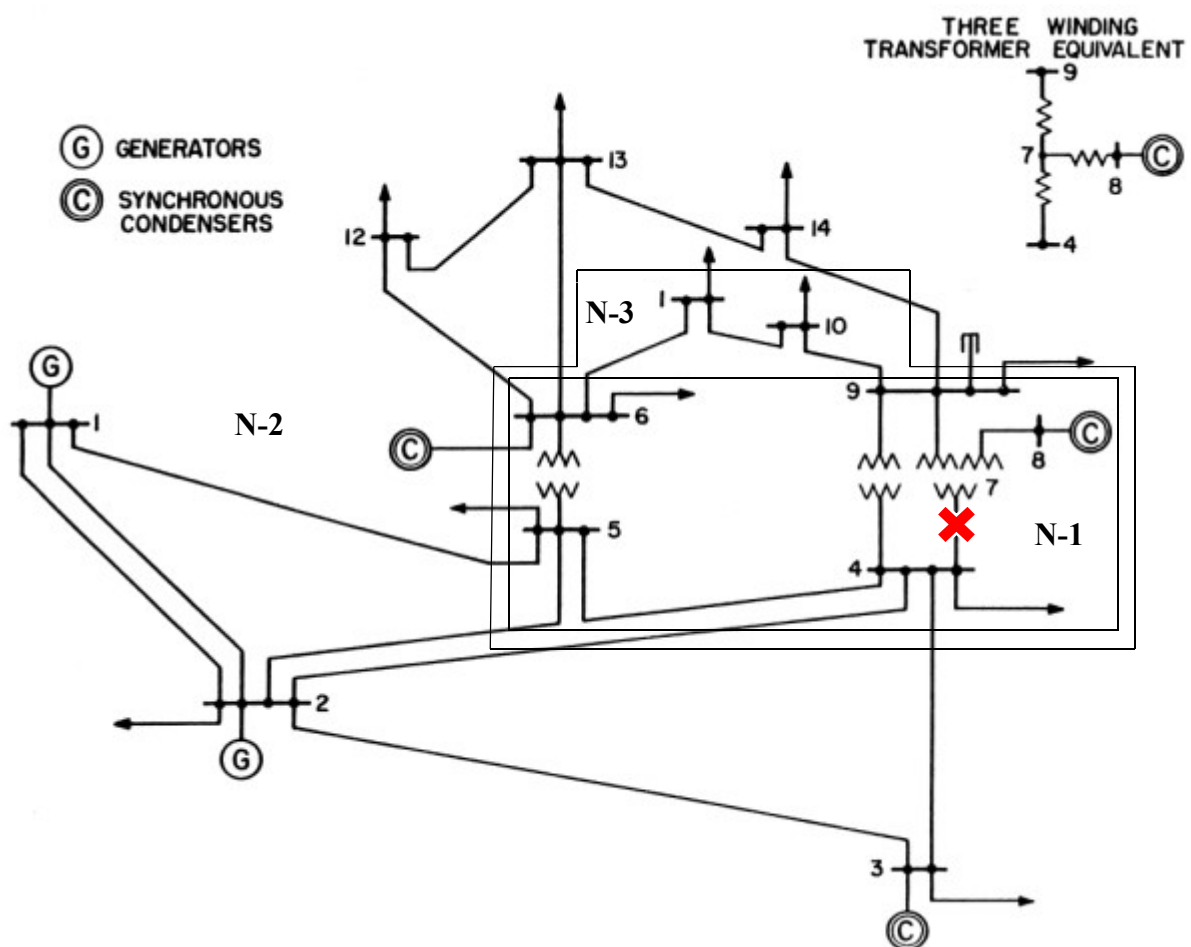
Saluran 7



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{4-5} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.0723
2	0,65	0,0093	0.0899
3	0,36	0,395	0.3302
4	0,65	0,0193	-0.1163
5	0,5	0,0372	0.1653
6	0,65	0,4374	0.3725
7	0,45	0,2346	0
8	0,55	0,0563	0.0979
9	0,32	0,0005	0.0244
10	0,45	0,0142	-0.0431
11	0,18	0,0103	-0.0284
12	0,32	0,0064	0.0022
13	0,32	0,0644	0.0499

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{4-5} out$ (pu)
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.1460
16	0,32	0,0745	0.1133
17	0,32	0,0451	0.0719
18	0,12	0,0091	0.0478
19	0,12	0,0337	0.0296
20	0,12	0,0282	0.0014

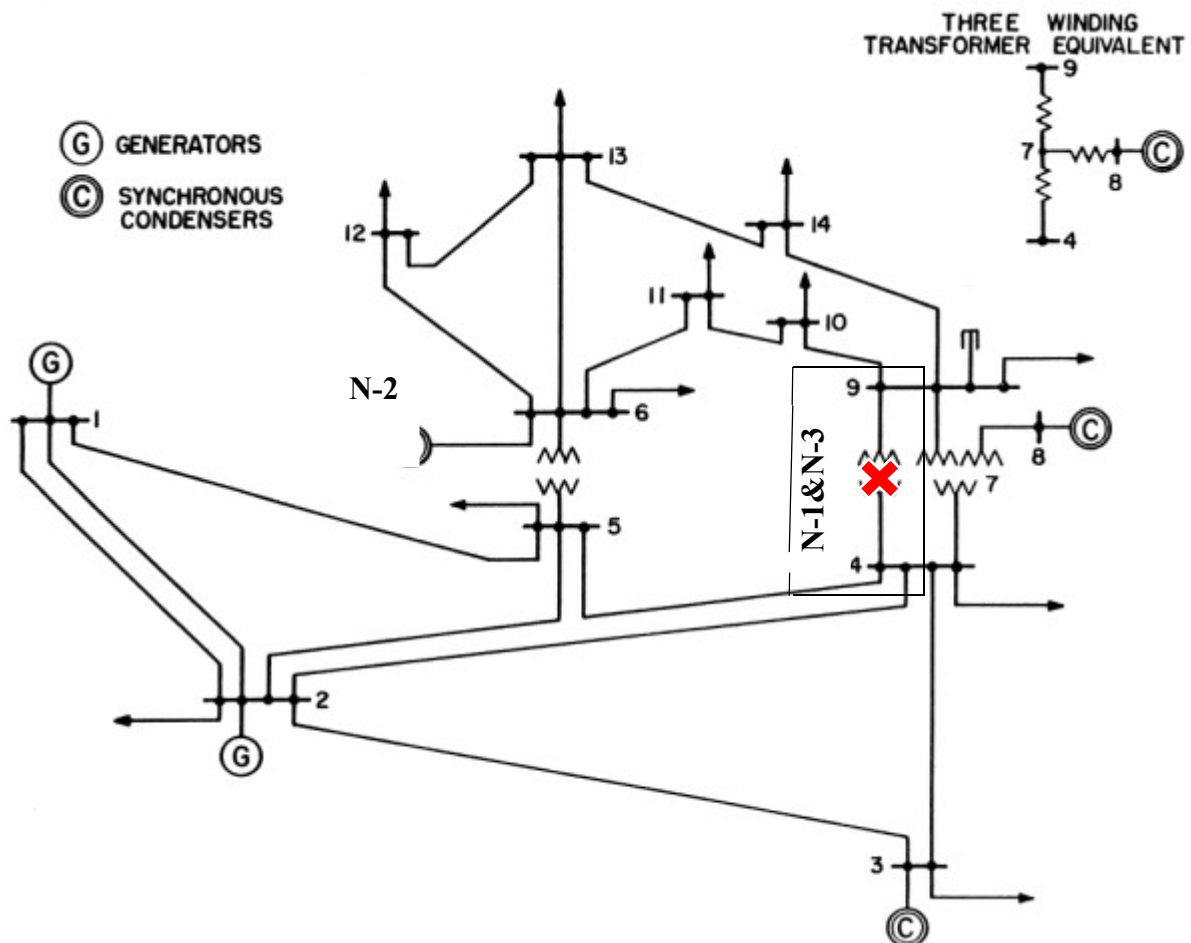
Saluran 8



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{4-7} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1304
2	0,65	0,0093	0.0018
3	0,36	0,395	0.3920
4	0,65	0,0193	0.0128
5	0,5	0,0372	0.0324

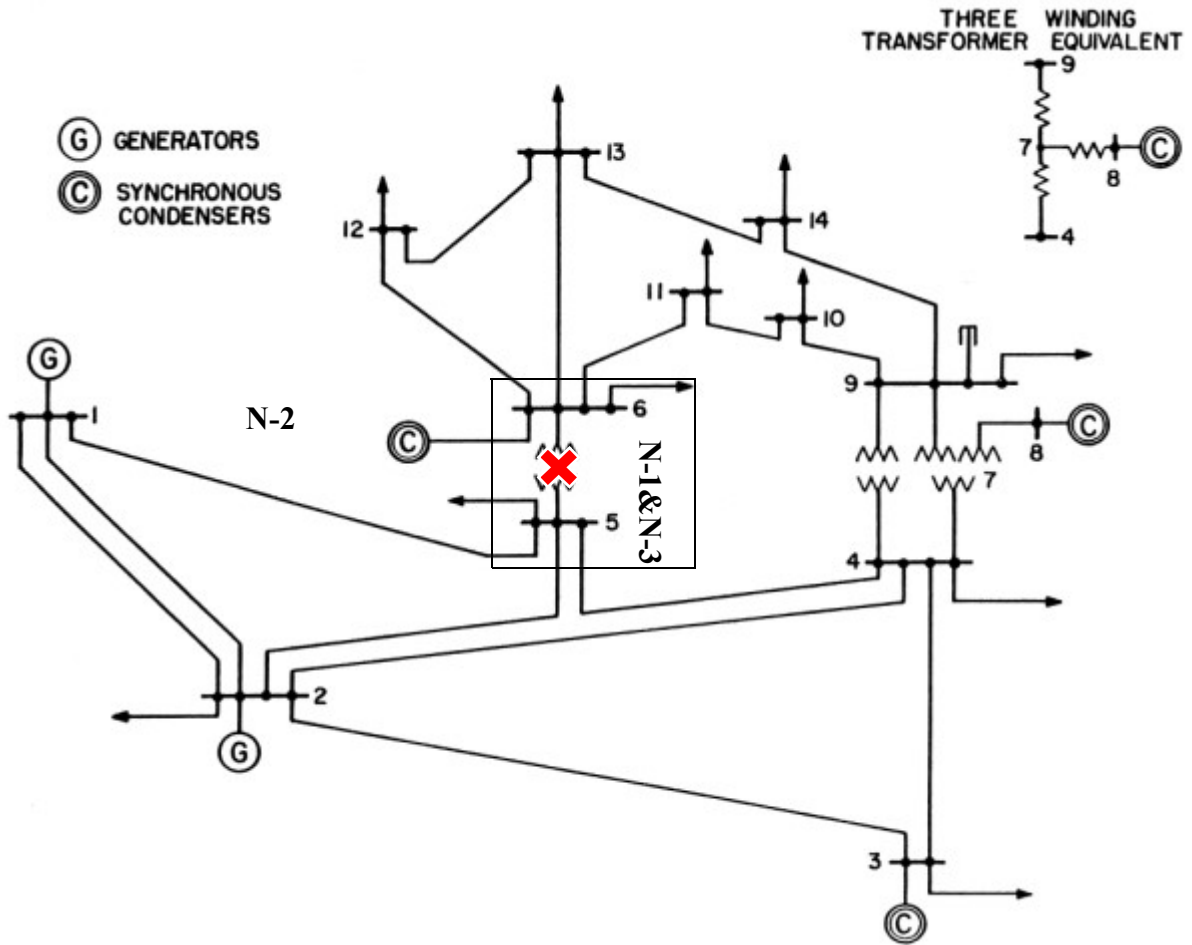
Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{4-7} out$ (pu)
6	0,65	0,4374	0.4343
7	0,45	0,2346	0.2416
8	0,55	0,0563	0
9	0,32	0,0005	0.0056
10	0,45	0,0142	0.0089
11	0,18	0,0103	0.0184
12	0,32	0,0064	0.0034
13	0,32	0,0644	0.0540
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.0827
16	0,32	0,0745	0.0664
17	0,32	0,0451	0.0367
18	0,12	0,0091	0.0009
19	0,12	0,0337	0.0308
20	0,12	0,0282	0.0366

Saluran 9



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{4-9}out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1445
2	0,65	0,0093	0.0092
3	0,36	0,395	0.3950
4	0,65	0,0193	0.0192
5	0,5	0,0372	0.0371
6	0,65	0,4374	0.4373
7	0,45	0,2346	0.2347
8	0,55	0,0563	0.0564
9	0,32	0,0005	0
10	0,45	0,0142	0.0141
11	0,18	0,0103	0.0104
12	0,32	0,0064	0.0063
13	0,32	0,0644	0.0642
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.1045
16	0,32	0,0745	0.0744
17	0,32	0,0451	0.0450
18	0,12	0,0091	0.0089
19	0,12	0,0337	0.0337
20	0,12	0,0282	0.0283

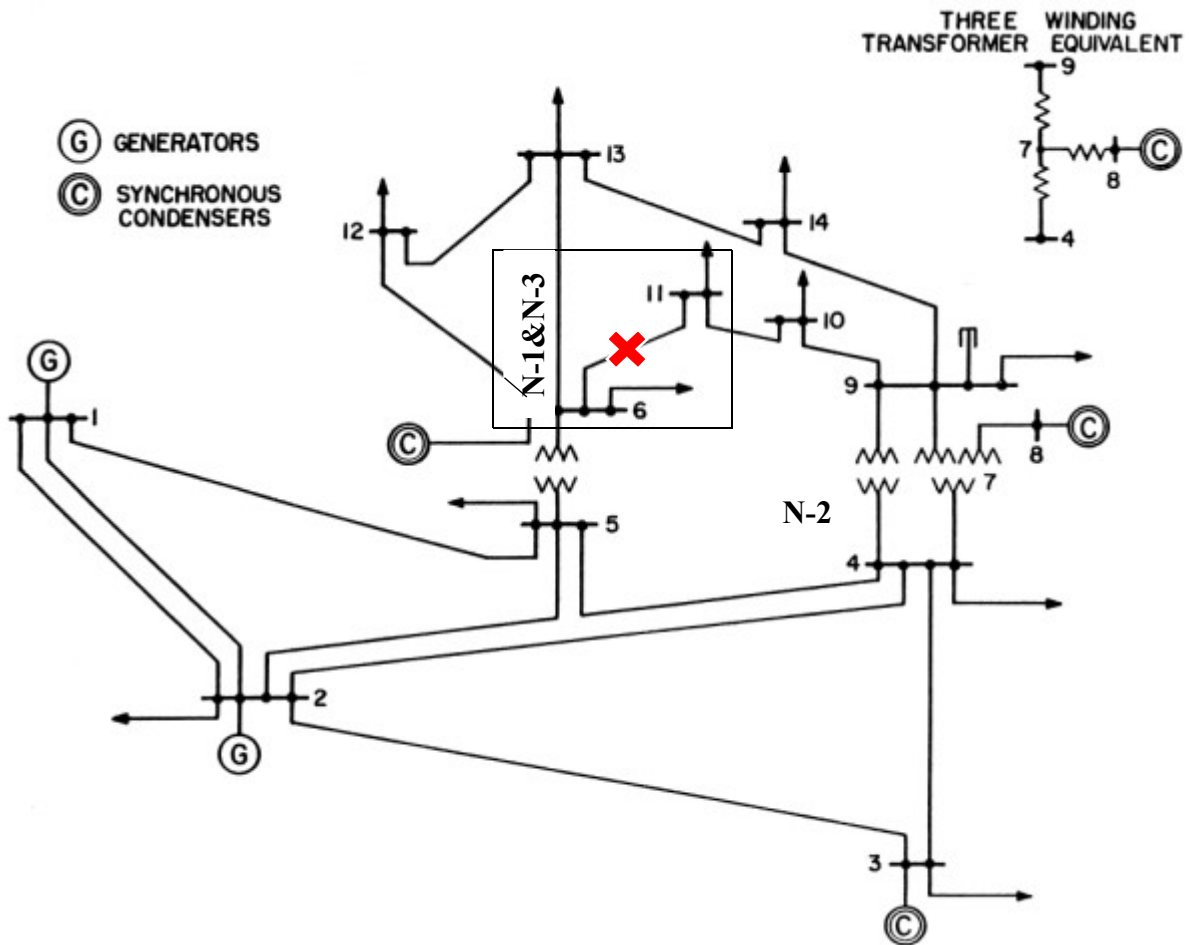
Saluran 10



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{5-6} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1257
2	0,65	0,0093	-0.0023
3	0,36	0,395	0.3916
4	0,65	0,0193	0.0122
5	0,5	0,0372	0.0286
6	0,65	0,4374	0.4340
7	0,45	0,2346	0.2289
8	0,55	0,0563	0.0532
9	0,32	0,0005	-0.0012
10	0,45	0,0142	0
11	0,18	0,0103	0.0106
12	0,32	0,0064	0.0005
13	0,32	0,0644	0.0439
14	0,32	0,001	0.0010

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{5-6} out$ (pu)
15	0,32	0,1044	0.1013
16	0,32	0,0745	0.0742
17	0,32	0,0451	0.0406
18	0,12	0,0091	0.0088
19	0,12	0,0337	0.0279
20	0,12	0,0282	0.0327

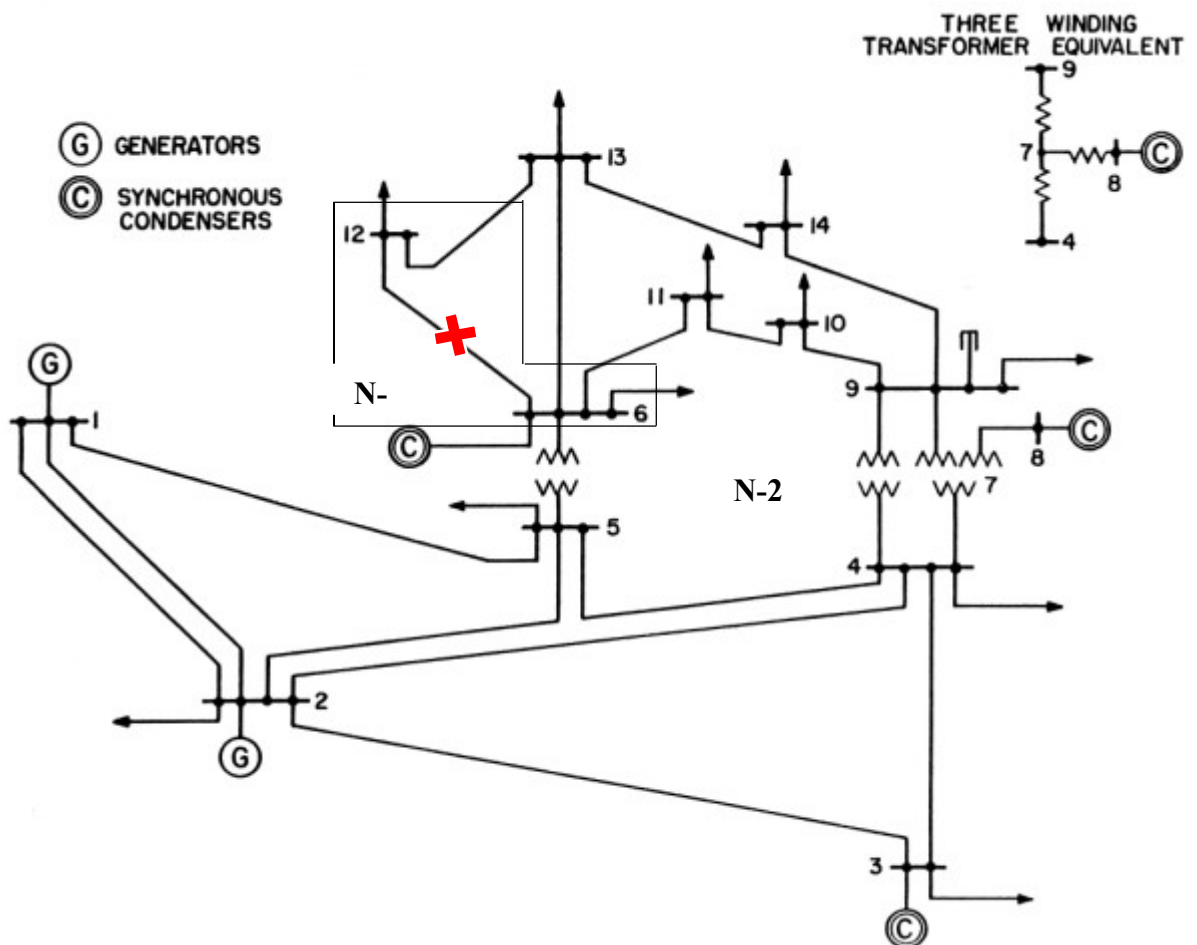
Saluran 11



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{6-11} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1452
2	0,65	0,0093	0.0096
3	0,36	0,395	0.3951
4	0,65	0,0193	0.0195
5	0,5	0,0372	0.0373
6	0,65	0,4374	0.4375

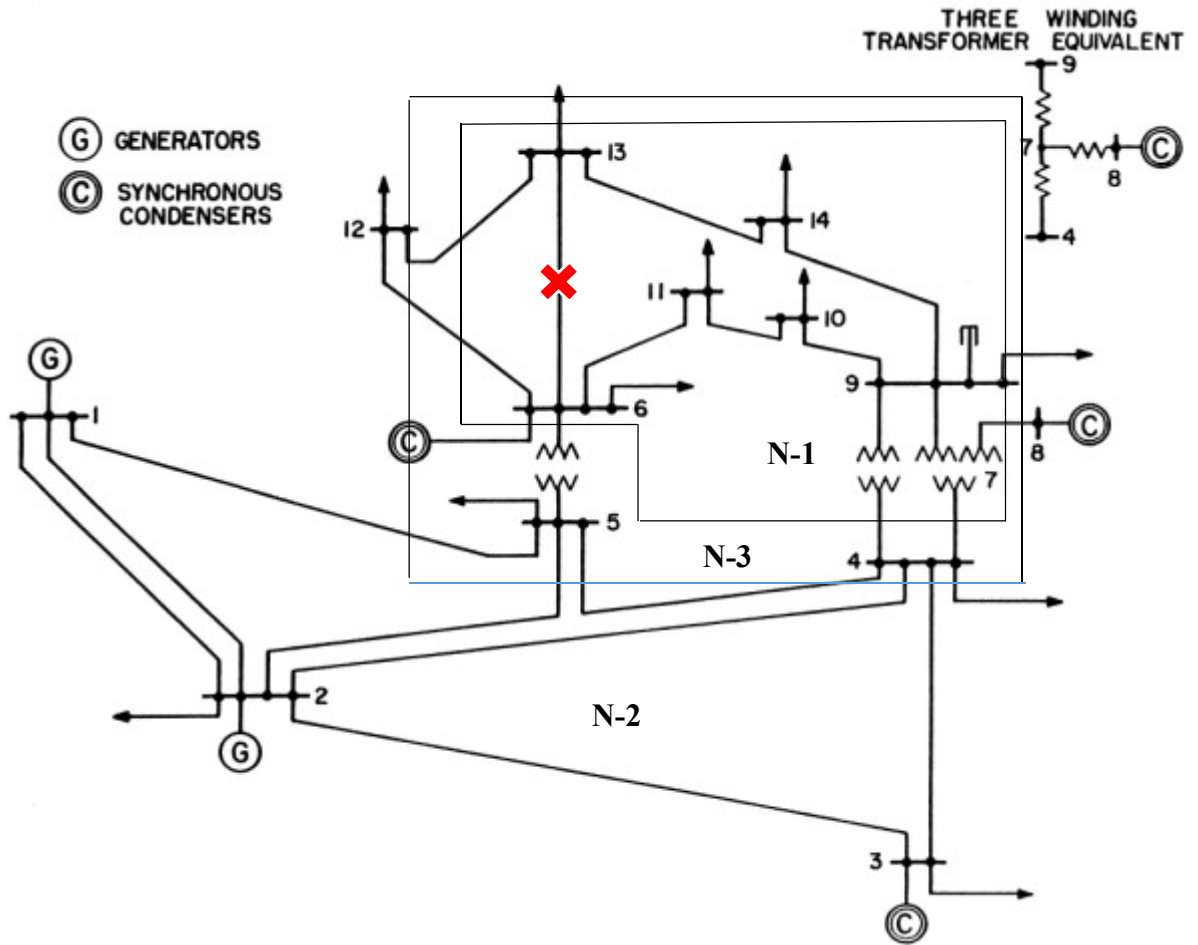
Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{6-11}out$ (pu)
7	0,45	0,2346	0.2342
8	0,55	0,0563	0.0567
9	0,32	0,0005	0.0007
10	0,45	0,0142	0.0142
11	0,18	0,0103	0
12	0,32	0,0064	0.0065
13	0,32	0,0644	0.0650
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.1048
16	0,32	0,0745	0.0752
17	0,32	0,0451	0.0450
18	0,12	0,0091	0.0098
19	0,12	0,0337	0.0339
20	0,12	0,0282	0.0283

Saluran 12



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{6-12}out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1443
2	0,65	0,0093	0.0091
3	0,36	0,395	0.3949
4	0,65	0,0193	0.0191
5	0,5	0,0372	0.0370
6	0,65	0,4374	0.4373
7	0,45	0,2346	0.2345
8	0,55	0,0563	0.0561
9	0,32	0,0005	0.0004
10	0,45	0,0142	0.0137
11	0,18	0,0103	0.0104
12	0,32	0,0064	0
13	0,32	0,0644	0.0647
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.1042
16	0,32	0,0745	0.0743
17	0,32	0,0451	0.0451
18	0,12	0,0091	0.0089
19	0,12	0,0337	0.0328
20	0,12	0,0282	0.0282

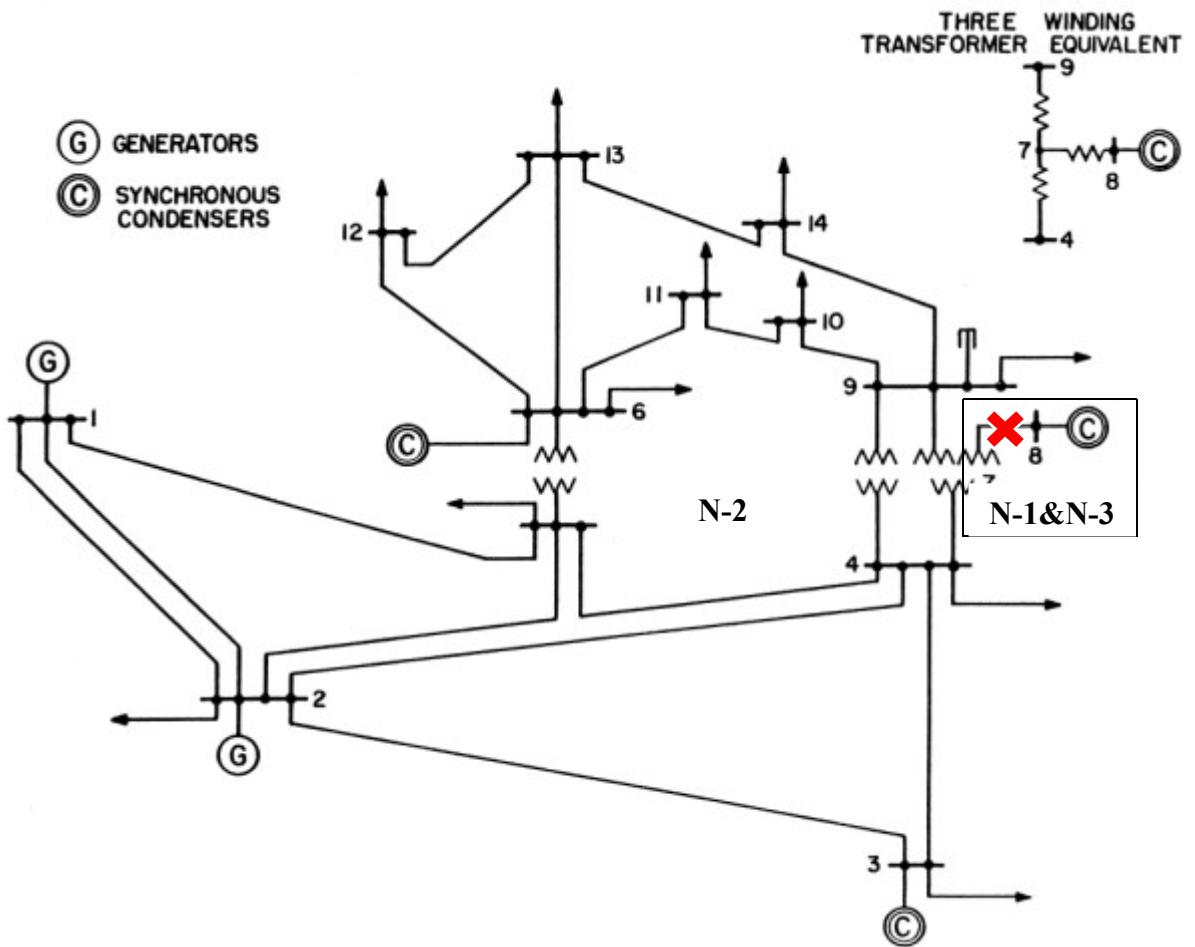
Saluran 13



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{6-13} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1392
2	0,65	0,0093	0.0061
3	0,36	0,395	0.3940
4	0,65	0,0193	0.0171
5	0,5	0,0372	0.0349
6	0,65	0,4374	0.4363
7	0,45	0,2346	0.2341
8	0,55	0,0563	0.0545
9	0,32	0,0005	-0.0004
10	0,45	0,0142	0.0082
11	0,18	0,0103	0.0123
12	0,32	0,0064	0.0074
13	0,32	0,0644	0
14	0,32	0,001	0.0010

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{6-13} out$ (pu)
15	0,32	0,1044	0.1026
16	0,32	0,0745	0.0725
17	0,32	0,0451	0.0444
18	0,12	0,0091	0.0070
19	0,12	0,0337	0.0348
20	0,12	0,0282	0.0289

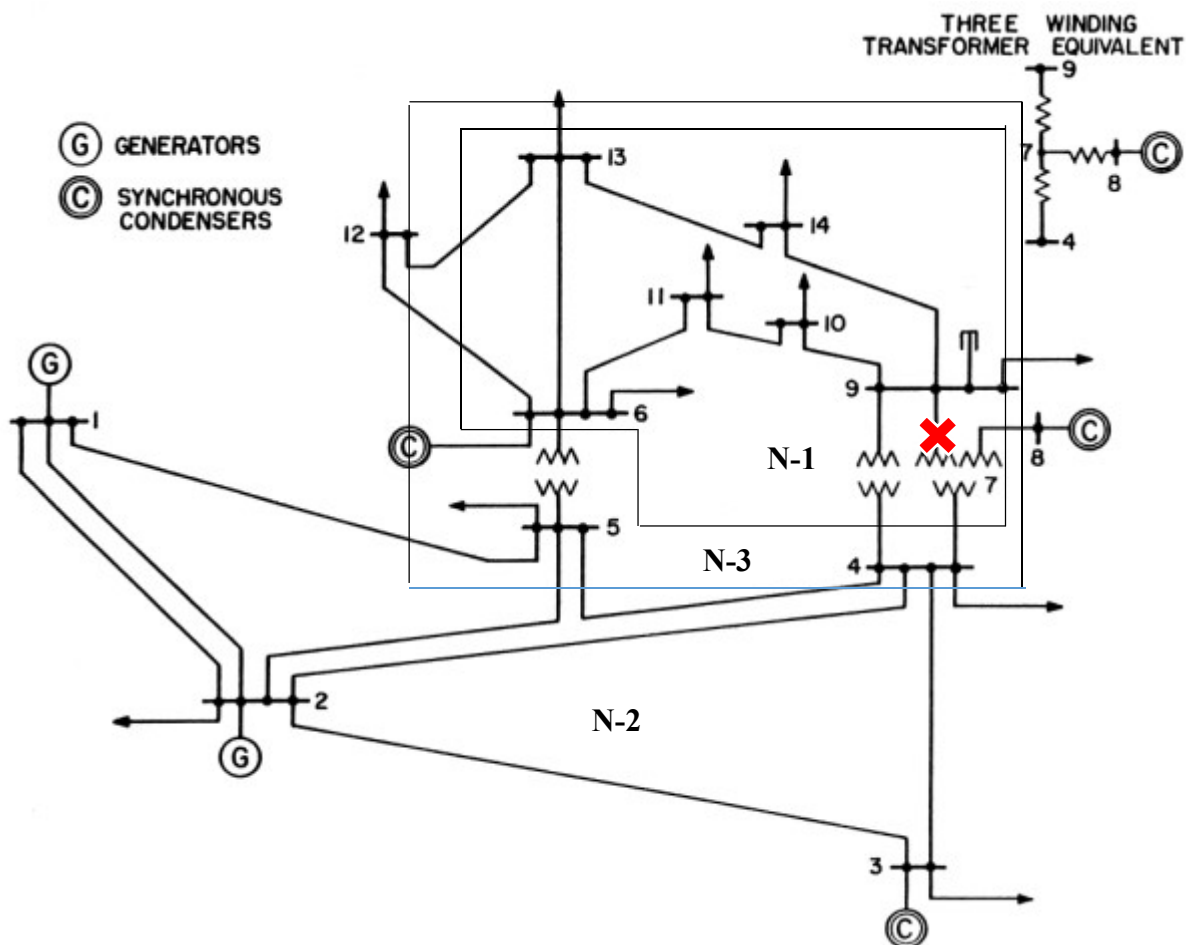
Saluran 14



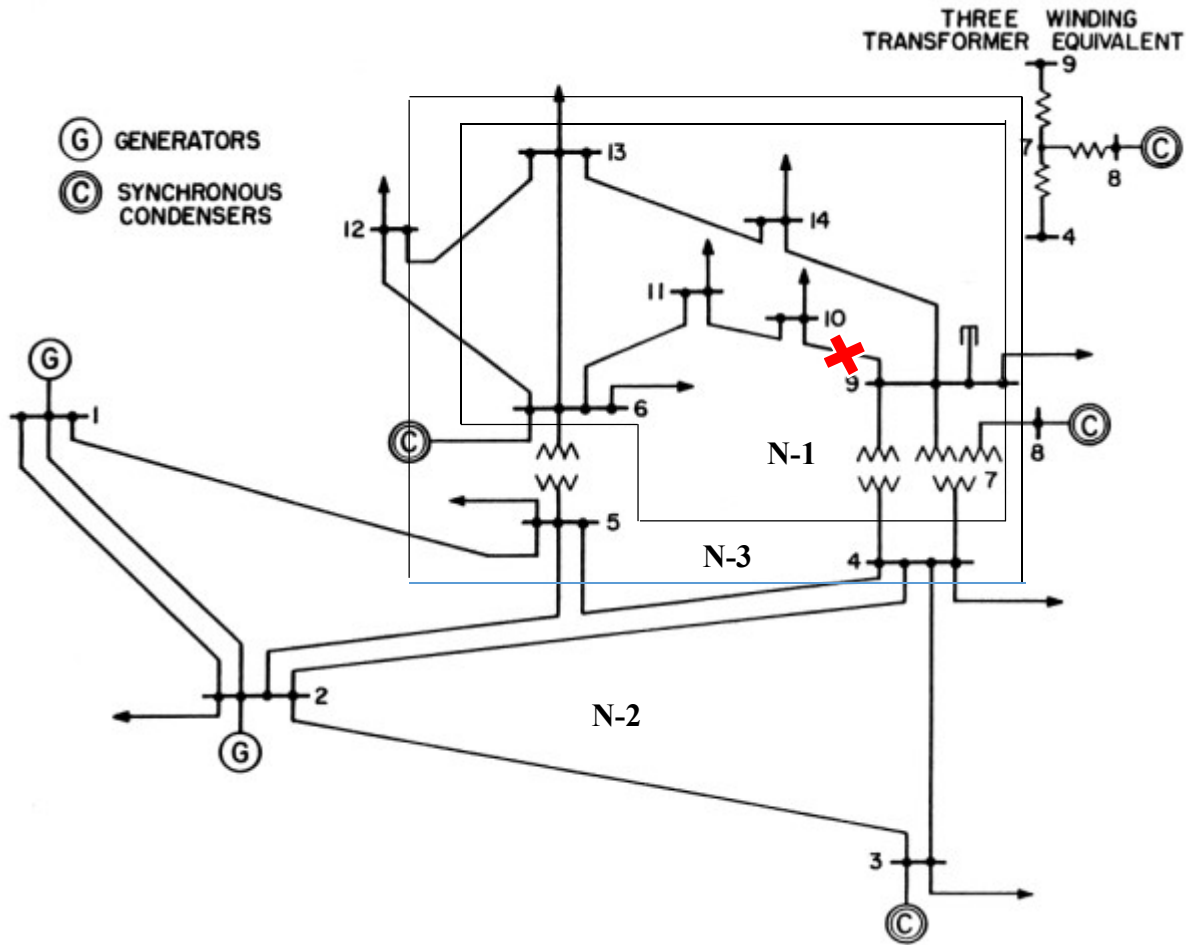
Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{7-8} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1447
2	0,65	0,0093	0.0093
3	0,36	0,395	0.3950
4	0,65	0,0193	0.0193
5	0,5	0,0372	0.0372
6	0,65	0,4374	0.4374

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{7-8 out}$ (pu)
7	0,45	0,2346	0.2346
8	0,55	0,0563	0.0563
9	0,32	0,0005	0.0005
10	0,45	0,0142	0.0142
11	0,18	0,0103	0.0103
12	0,32	0,0064	0.0064
13	0,32	0,0644	0.0644
14	0,32	0,001	0
15	0,32	0,1044	0.1044
16	0,32	0,0745	0.0745
17	0,32	0,0451	0.0451
18	0,12	0,0091	0.0091
19	0,12	0,0337	0.0337
20	0,12	0,0282	0.0282

Saluran 15



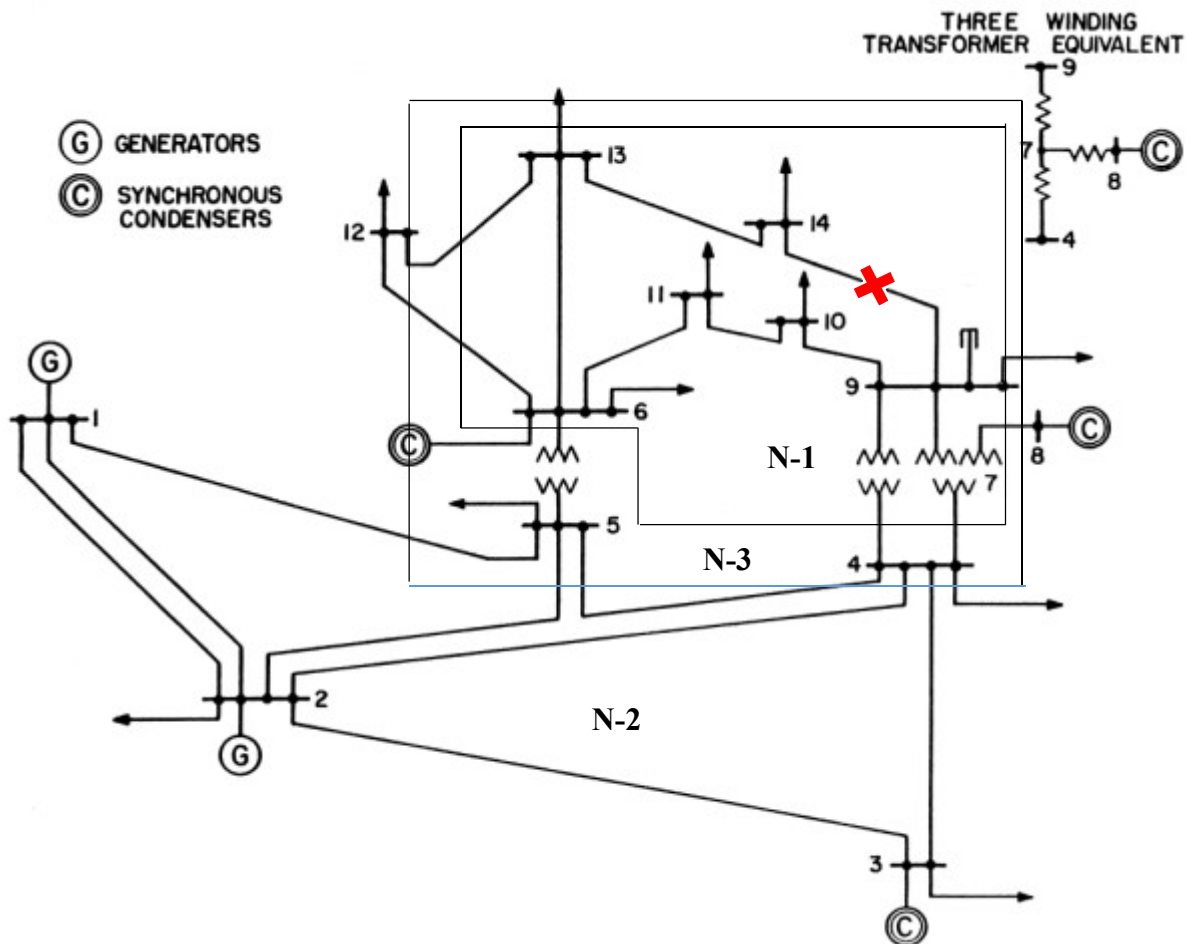
Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{7-9}out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1184
2	0,65	0,0093	-0.0045
3	0,36	0,395	0.3894
4	0,65	0,0193	0.0074
5	0,5	0,0372	0.0283
6	0,65	0,4374	0.4317
7	0,45	0,2346	0.2476
8	0,55	0,0563	0.0163
9	0,32	0,0005	0.0099
10	0,45	0,0142	0.0045
11	0,18	0,0103	0.0253
12	0,32	0,0064	0.0009
13	0,32	0,0644	0.0452
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0
16	0,32	0,0745	0.0595
17	0,32	0,0451	0.02961
18	0,12	0,0091	-0.0058
19	0,12	0,0337	0.0283
20	0,12	0,0282	0.0437



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{9-10} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1418
2	0,65	0,0093	0.0079
3	0,36	0,395	0.3944
4	0,65	0,0193	0.0179
5	0,5	0,0372	0.0363
6	0,65	0,4374	0.4367
7	0,45	0,2346	0.2368
8	0,55	0,0563	0.0535
9	0,32	0,0005	-0.0010
10	0,45	0,0142	0.0140
11	0,18	0,0103	0.0152
12	0,32	0,0064	0.0052
13	0,32	0,0644	0.0604
14	0,32	0,001	0.0010

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{9-10} out$ (pu)
15	0,32	0,1044	0.1016
16	0,32	0,0745	0
17	0,32	0,0451	0.0458
18	0,12	0,0091	0.0041
19	0,12	0,0337	0.0326
20	0,12	0,0282	0.0275

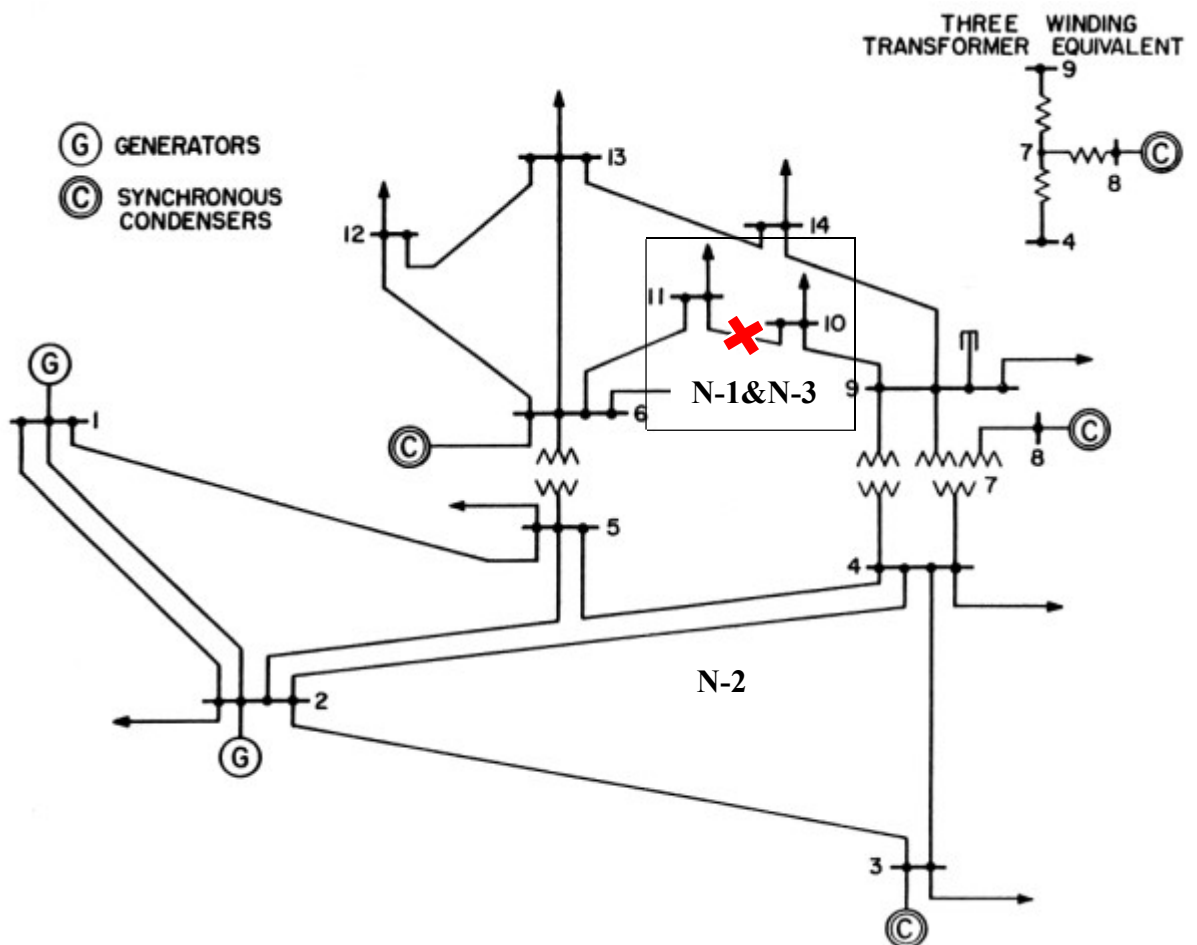
Saluran 17



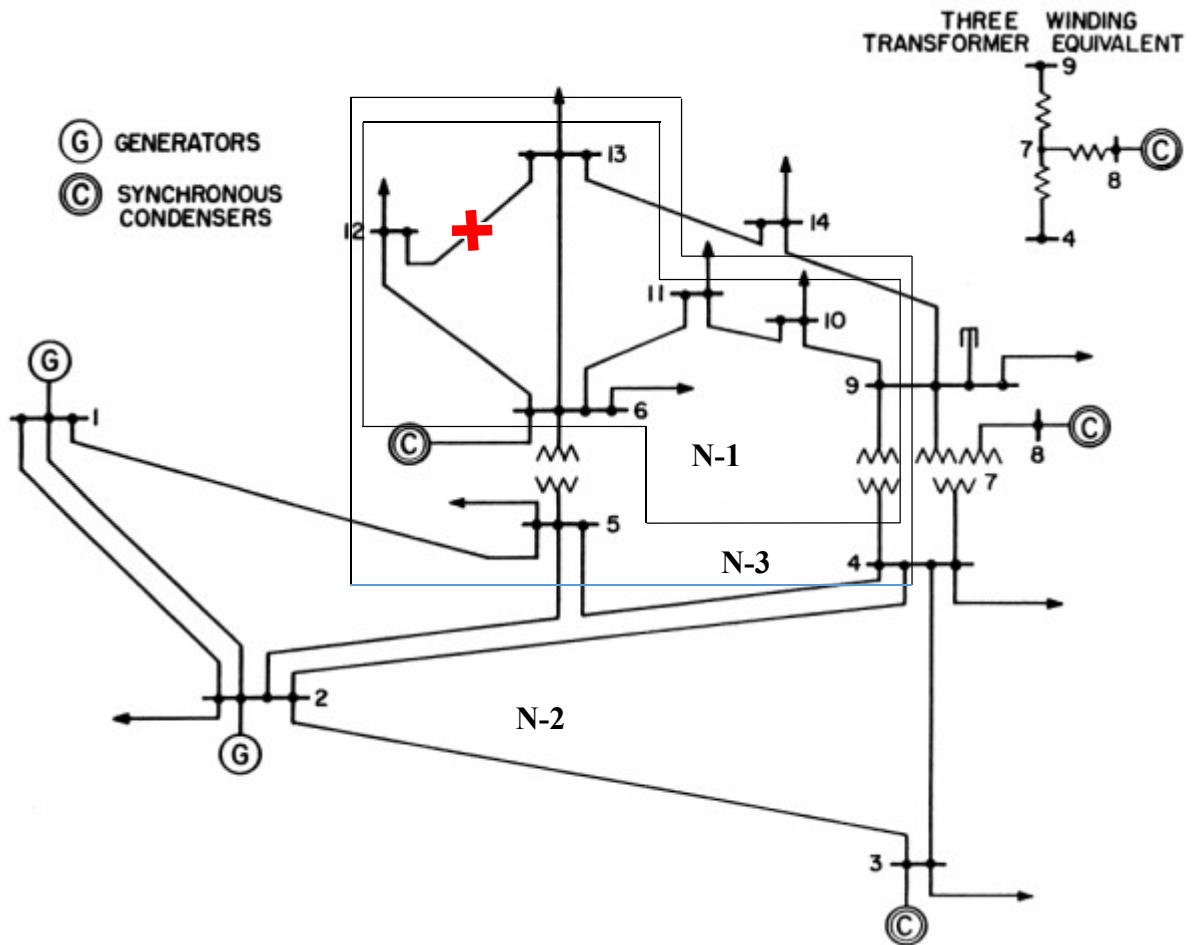
Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{9-14} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1340
2	0,65	0,0093	0.0035
3	0,36	0,395	0.3928
4	0,65	0,0193	0.0146
5	0,5	0,0372	0.0333
6	0,65	0,4374	0.4351

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{9-14} out$ (pu)
7	0,45	0,2346	0.2381
8	0,55	0,0563	0.0496
9	0,32	0,0005	-0.0032
10	0,45	0,0142	0.0081
11	0,18	0,0103	0.0087
12	0,32	0,0064	0.0053
13	0,32	0,0644	0.0608
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.0977
16	0,32	0,0745	0.0760
17	0,32	0,0451	0
18	0,12	0,0091	0.0106
19	0,12	0,0337	0.0327
20	0,12	0,0282	0.0401

Saluran 18



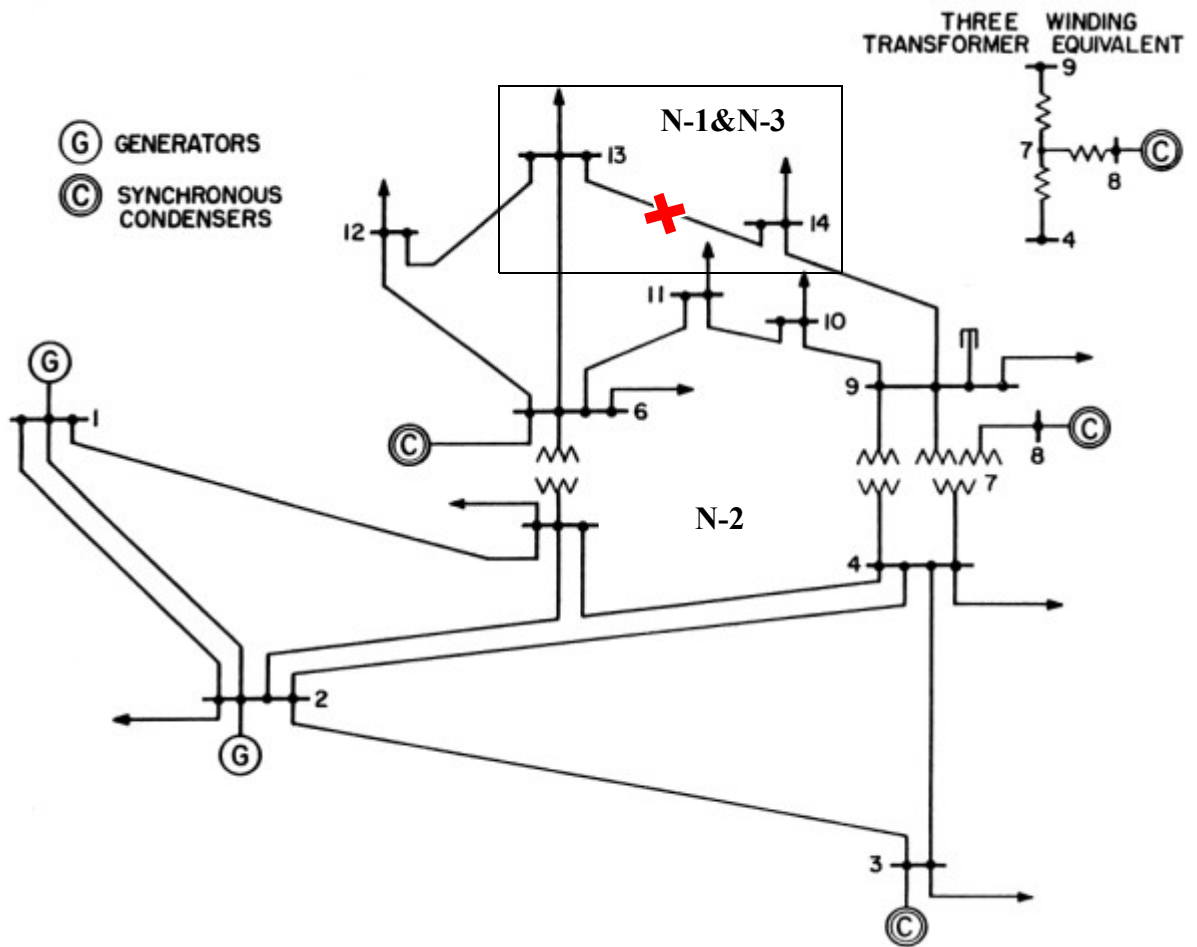
Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{10^{-11}out}$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1438
2	0,65	0,0093	0.0089
3	0,36	0,395	0.3948
4	0,65	0,0193	0.0188
5	0,5	0,0372	0.0369
6	0,65	0,4374	0.4371
7	0,45	0,2346	0.2353
8	0,55	0,0563	0.0554
9	0,32	0,0005	2.2031×10^{-5}
10	0,45	0,0142	0.0141
11	0,18	0,0103	0.0119
12	0,32	0,0064	0.0060
13	0,32	0,0644	0.0631
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.1035
16	0,32	0,0745	0.0729
17	0,32	0,0451	0.0454
18	0,12	0,0091	0
19	0,12	0,0337	0.0334
20	0,12	0,0282	0.0280



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{12-13 out}$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1434
2	0,65	0,0093	0.0085
3	0,36	0,395	0.3948
4	0,65	0,0193	0.0187
5	0,5	0,0372	0.0366
6	0,65	0,4374	0.4371
7	0,45	0,2346	0.2345
8	0,55	0,0563	0.0558
9	0,32	0,0005	0.0002
10	0,45	0,0142	0.0127
11	0,18	0,0103	0.0108
12	0,32	0,0064	0.0035
13	0,32	0,0644	0.0653
14	0,32	0,001	0.0010

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{12-13} out$ (pu)
15	0,32	0,1044	0.1039
16	0,32	0,0745	0.0740
17	0,32	0,0451	0.0450
18	0,12	0,0091	0.0086
19	0,12	0,0337	0
20	0,12	0,0282	0.0284

Saluran 20



Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{13-14} out$ (pu)
1	1,2	0,1447	0.1477
2	0,65	0,0093	0.0109
3	0,36	0,395	0.3956
4	0,65	0,0193	0.0205
5	0,5	0,0372	0.0382
6	0,65	0,4374	0.4380

Saluran	MW Limit (pu)	f_{pq}^0 (pu)	$f_{pq}^{13-14}out$ (pu)
7	0,45	0,2346	0.2336
8	0,55	0,0563	0.0581
9	0,32	0,0005	0.0015
10	0,45	0,0142	0.015
11	0,18	0,0103	0.0107
12	0,32	0,0064	0.0066
13	0,32	0,0644	0.0654
14	0,32	0,001	0.0010
15	0,32	0,1044	0.1062
16	0,32	0,0745	0.0741
17	0,32	0,0451	0.0484
18	0,12	0,0091	0.0086
19	0,12	0,0337	0.0340
20	0,12	0,0282	0