TE/SEKJUR/2018/028

ANALISIS KONTINGENSI SISTEM TENAGA 30 BUS IEEE BERBASIS METODE ALIRAN DAYA FAST DECOUPLED

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:
Rahmad Syafri Utama
14524115

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta
2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KONTINGENSI SISTEM TENAGA 30 BUS IEEE BERBASIS METODE ALIRAN DAYA FAST DECOUPLED

TUGAS AKHIR

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

Disusun oleh:

Rahmad Syafri Utama
14524115

Yogyakarta, 15-November-2018

Menyetujui,

Pembimbing 1

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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS KONTINGENSI SISTEM TENAGA 30 BUS IEEE BERBASIS METODE ALIRAN DAYA FAST DECOUPLED

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Rahmad Syafri Utama

14524115

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: Tito Yuwono,ST.,M.Sc. _____

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

Tanggal: 27 November 2018

Ketua Program Studi Teknik Elektro

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Yusuf Aziz Amrullah,ST.,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, 14 September 2018



Rahmad Syafri Utama

KATA PENGANTAR



Assalamualaikaum. Wr. Wb

Alhamdulillahi Robbil' Alamin, segala puja, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT Tuhan Semesta Alam, Raja dari semua Raja karena atas karunia nikmat dan kasih sayang-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 tiada 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 untuk itu penulis mengucapakan banyak terima kasih kepada :

1. Orang Tua tercinta Ibu Munirawati, SST., SPd., dan Bapak Muhammad Tugiman, ST., atas dukungan dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, mendampingi dan memberikan bantuan pikiran serta materi sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., 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. Siti Amanah S.Ked dan Hafifah Mutia Rizki., selaku pemberi semangat dan penenang hati setiap hari kepada penulis dalam menjalankan skripsi ini.
6. Jatmiko Jati Kusumo S.T, M Julio Roby P , yang membantu mengajari pembuatan coding Matlab.
7. Sahabat seperjuangan Cahya Nanda Priyadi, Bachtiar Bahri, M Heru Fathorodin, dan M Iqbal Maulana Ginting terimakasih banyak atas keceriaannya, kebersamaan ketika susah maupun senang. Selalu menghibur penulis dalam 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, terimakasih banyak atas kenangan, bantuan, dan kebersamaannya, sungguh kalian merupakan harta yang tidak ternilai.

9. Sahabat – sahabat diluar jurusan Teknik Elektro yang bersedia membantu pelaksanaan penelitian sehingga dapat diselesaikan.
10. Dan banyak pihak yang tidak dapat penulis sebutkan seluruhnya yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Kemudian penulis menyadari laporan ini jauh dari sempurna 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, 14 September 2018

Rahmad Syafri Utama

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
MATLAB	*Matrix Laboratory*
PI	*Performance Index*
CA	*Contigency Analysis*
NR	*Newton-Raphson*
FDLF	*Fast Decoupled Load Flow*
IEEE	*Institute of Electrical and Electronics Engineers*

ABSTRAK

Contingency Analysis (CA) merupakan analisis untuk memprediksi kondisi sistem pasca terjadinya pelepasan (*outage*) baik berupa pelepasan saluran maupun generator. CA dilakukan untuk memprediksi kejadian terburuk pada sistem tenaga listrik apabila terjadinya kegagalan pada sistem tenaga. Pada penelitian ini dilakukaan kontingensi (N-1) dimana hanya terjadi pelepasan satu saluran antar bus yang akan diimplementasiakan pada sistem IEEE 30 bus menggunakan metode aliran daya *Fast Decoupled Load Flow*(FDLF). Dari hasil perhitungan aliran daya, diambil nilai daya aktif saluran dengan batas maksimal iterasi yang telah ditentukan untuk mencapai nilai konvergen pada metode. Perangkingan saluran dilakukan sesuai dengan nilai *Performance Index* (PI). Perhitungan PI dilakukan pada setiap pelepasan saluran dengan bantuan *software* MATLAB. Pada kontingensi N-1 nilai PI terbesar terdapat pada saluran 1-2 dengan PI 18,5736, karena pada saluran tersebut terdapat *slack* bus yang merupakan generator referensi pada sistem apabila kekurangan daya. Untuk memperbaiki saluran yang *overload* perlunya penambahan daya pada generator saluran yang terdekat dengan pelepasan saluran. Pada rangking kontingensi tertinggi yaitu saluran 1-2 terdapat 3 saluran yang mengalamai *overload* yaitu saluran 1-3, 3-4 dan 4-6. Untuk memperbaiki saluran tersebut dilakukannya penambahan nilai batasan kapasitas maksimum saluran menjadi 350 MW untuk saluran 1-3 dan 3-4 dan untuk saluran 4-6 menjadi 160 MW agar dapat menghindari terjadinya pemadaman bertingkat dan bisa menimbulkan efek pemadaman total pada sistem tenaga.

Kata Kunci : *contingency analysis, Fast Decoupled Load Flow, Performance Index, Ranking*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN iii
KATA PENGANTAR iv
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 3
2.1 Studi Literatur 3
2.2 Contingency Analysis 4
2.3 Ranking Kontingensi 5
2.4 Fast Decoupled Load Flow 6
BAB 3 METODOLOGI 11
3.1 Alur Penelitian 11
3.2 Perancangan Sistem Simulasi 13
3.3 Implementasi Metode 13

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 15
4.1 Hasil Simulasi 15
4.2 Simulasi Kontingensi N-1 15
4.3 Analisis lanjutan kontingensi dengan nilai PI tertinggi 18
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 20
5.1 Kesimpulan 20
5.2 Saran 21
DAFTAR PUSTAKA 22
LAMPIRAN 23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 *Flowchart* alur penelitian 12
Gambar 3. 2 *Flowchart* Metode *Fast Decoupled Loadflow* 14

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil komputasi MATLAB nilai PI dan rangking saat kontingensi N-1 16
Tabel 4. 2 Hasil pembebanan terparah pada pelepasan saluran 1-2 18

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem tenaga listrik pada suatu jaringan listrik di Indonesia, sangat berpengaruh terhadap penerangan di Indonesia. Semakin bertambahnya penduduk maka bertambah pula beban listrik yang akan digunakan. Perusahaan listrik negara (PLN) terus berinovasi untuk membantu masyarakat dalam menerangkan Indonesia. Semakin bertambahnya kebutuhan listrik yang diinginkan masyarakat, tanpa tersadari semakin berkurangnya juga bahan energi listrik seperti bahan bakar fosil, gas dan lain-lain.

Dalam operasi sistem tenaga listrik terdapat banyak gangguan yang tidak bisa di hindari, gangguan yang sering terjadi pada saluran transmisi yaitu hubung singkat, terputus saluran atau yang lainnya[1]. Pada suatu sistem tenaga listrik harus memiliki keandalan yang baik, karena terjadinya ketidakstabilan aliran daya pada saluran transmisi akan terjadi pemadaman total pada saluran (*blackout*) apabila tidak segera diatasi. CA dapat di lakukan apabila adanya masalah pada *power security* yang paling terburuk dan untuk mengidentifikasikan problem daya aktif dan daya reaktif pada aliran daya sistem tenaga.

Analisis kontingensi dalam tugas akhir ini bertujuan untuk menentukan pada saluran mana yang terjadi beban berlebih atau saluran terlemah yang memasuki masa kritis. Untuk mengetahui adanya identifikasi kesalahan dalam sistem aliran daya pada kontingensi (N-1) dimana dapat mencari *performance index* (PI) untuk menentukan ranking setiap saluran dalam sistem tenaga listrik. Untuk membantu jalannya penelitian penulis menggunakan software MATLAB untuk menghitung nilai *output* pada sistem aliran daya aktif yang di ambil dari sistem 30 bus pada IEEE. Untuk mengetahui perubahan daya aktif dan reaktif , maka metode aliran daya yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu *Fast Decoupled Load Flow* (FDLF). Setelah mendapatkan hasil dari komputasi aliran daya pada MATLAB, kemudian dilakukan analisis kontingensi N-1 dengan perhitungan nilai PI untuk mendapatkan hasil rangking, agar mengetahui saluran mana yang melampaui pembebanan kritis setelah terjadinya kontingensi N-1.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana rangking sistem aliran daya listrik pada sistem IEEE 30 bus saat terjadinya kontingensi N-1 berdasarkan PI?
2. Bagaimana hasil pembebanan berlebih untuk rangking kontingensi tertinggi ?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Rangking kontingensi hanya berdasarkan performasi Indeks (PI)
2. Data yang digunakan yaitu daya aktif saluran pada aliran daya FDLF yang diiplementasikan pada sistem IEEE 30 bus pada saat kontingensi N-1

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam skripsi ini yaitu sebagai berikut:

1. Membuat rangking kontingensi N-1 berdasarkan nilai PI pada sistem tenaga 30 bus IEEE.
2. Mengetahui saluran yang mengalami pembebanan berlebih untuk rangking kontingensi tertinggi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam skripsi ini untuk membantu memeriksa kinerja sistem daya setelah terjadi gangguan kontingensi N-1 dan sebagai patokan dalam perencanaan operasi sistem tenaga listrik pada sistem IEEE 30 bus.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian dibidang CA telah dilakukan dalam berbagai penelitian, dan banyak berbagai metode yang dapat menyelesaikannya, oleh karena itu penulis sangat membutuhkan referensi dalam menyelesaikan tugas akhir ini, referensi pertama yang penulis ambil yaitu pada peneltian yang dilakukan Arif Rachman, yang berjudul "Analisis Kontingensi Pada Sistem Jawa-Bali 500 kV Untuk Mendesain Keamanan Operasi"[1]. Dalam jurnal ini penulis membahas tentang kasus terlepasnya saluran transmisi pada jaringan interkoneksi Jawa-Bali 500 kV. analisa kontingensi yang disebabkan karena terlepasnya saluran transmisi pada interkoneksi Jawa-Bali 500 kV dari hasil analisa untuk menemukan solusi dan masalah pada kasus tersebut penulis mendesain keamanan operasi pada saluran transmisi Jawa-Bali 500 kV. Pada kesimpulan penulis mengatakan bahwa dampak kontingensi terbagi menjadi dua yaitu drop tegangan dan *overload* saluran. Penulis menggunakan metode Newton-Raphson untuk menentukan nilai koreksi magnitude dan sudut fasa tegangan. Pada kasus ini terjadi kasus berubahnya tegangan pada saluran transmisi, sehingga penulis melakukan penelitian dengan analisis kontingensi untuk menemukan masalah dan solusi yang dapat di ambil dalam studi kasus tersebut. Pada hasil simulasi nilai yang keluar masih pada rentang standard tidak melebihi KHA (kemampuan hantar arus) dari saluran transmisi yang ada.

Kemudian penelitian yang sama dilakukan juga oleh Dimas Fajar Uman Putra , Ontoseno Penangsang dan Adi Soeprijanto jurnal yang berjudul " Analisis kotingensi sistem kelistrikan Sulawesi selatan dan barat " [2]. Dalam jurnal ini membahas tentang sistem transmisi daya listrik Sulawesi selatan dan barat, dimana pada sebuah kasus yang terjadi pada 30 september 2007 terjadi *blackout*. Penulis merancang sistem keamanan operasi yang lebih handal agar tidak terjadi hal yang sama terulang kembali, penelitian ini menggunakan analisis kontingensi dimana penulis dapat mensimulasikan pada software ETAP 4.0 dengan menggunakan *transient stability study case.* Pada penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dapat beberapa hal yang dapat di perbaiki sistem dengan adanya penambahan saluran tansmisi dan pembuatan pola pelepasan beban agar lebih maksimal .

Penelitian dengan tema yang sama yaitu tentang kontingensi juga dilakukan oleh, Sandhya Rani, Tegala, dan Srinivasa Rao dengan judul "*Power System Contingency Ranking Using Fast Decoupled Load Flow Method* "[3]. Dalam jurnal ini penulis menjelasakan banyak tentang kontingensi melalui metode aliran daya. Karena permintaan daya setiap waktunya meningkat

maka sistem tenaga harus juga meningkat kinerjanya. Akibat terjadi ketidakstabilannya tegangan, keamanan sistem menjadi salah satu aspek penting untuk memperkirakan kemungkinan yang terjadi pada suatu sistem. Dalam jurnal tersebut penulis melakukan kontingensi pada sistem 5 bus IEEE dengan pengaruh indeks performa pada daya aktif dan indeks performa pada tegangan, untuk merangking didasarkan kepada indeks kinerja keseluruhan (PI) yaitu penjumlahan pada indeks kinerja daya aktif (PIp) dan indeks kinerja tegangan (PIv) untuk mendapatkan hasil daya peneliti melakukan dengan metode *Fast Decoupled Load Flow* yang dilakukan pada *software* MATLAB untuk mempermudah perhitungan. Dalam penelitian yang dilakukan penulis menjelaskan bahwa analisis kontingensi dapat dilakukan dengan menggunakan indeks kinerja dan arus beban AC, dengan metode yang paling cocok karena pada suatu sistem tenaga mememiliki jaringan yang rumit dan sangat penting untuk melakukan pemilihan kontingensi agar tidak terjadi kegagalan pada sistem kedepannya agar sistem dapat beroperasi dengan aman, andal, dan berkelanjutan.

Dari ketiga referensi diatas yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan penulis, mengarah pada referensi ketiga. Perbedaan yang dilakukan yaitu tidak menggunakan performa indeks kinerja daya aktif dan kinerja indeks tegangan namun hanya menggunakan nilai PI untuk menentukan rangking saluran mana yang mengalami pembebanan kritis yang akan di implementasikan pada sistem 30 BUS IEEE.

2.2 Contingency Analysis

Contingency Analysis (CA) adalah suatu analisis untuk memprediksi kondisi sistem pasca terjadinya pelepasan (*outage*) baik berupa pelepasan saluran maupun generator. Kontingensi dilakukan untuk memprediksi kejadian terburuk pada sistem tenaga listrik apabila terjadinya kegagalan pada sistem tenaga listrik. Konsep kontingensi sendiri di perkenalkan oleh Ejebe dan Wollenberg[4]. Kontingensi disebut juga sebagai peristiwa tak terduga dalam sistem tenaga, analisis ini membutuhkan simulasi pada setiap kemungkinan yang terjadi. Untuk menganalisis kontingensi lebih mudah harus melewati tiga langkah penting yaitu:

1. Memahami definisi kontingensi
2. Pemilihan kontingensi : langkah ini untuk pendekatan peringkat kontingensi dimana peringkat yang di lakukan sesuai dengan indeks kinerja keseluruan yang akan menunjukan keparahan saat adanya kontingensi, dalam langkah ini kita mendapatkan informasi daftar kemungungkinan yang mengarah kebatas pelanggaran dalam sistem aliran daya dan besar tegangannya, dan langkah ini juga termasuk untuk mengurutkan tingkat keparahan terendah dari daftar kemungkinan sistem aliran daya,.

3. Evaluasi kontingensi : langkah terakhir ini melibatkan kontrol yang di perlukan dalam tindakan keamanan untuk memitigasi yang paling efektif pada kemungkinan yang ada dalam sistem aliran daya yang diberikan.

Power engineer harus berkonsentrasi dalam analisis ini untuk tujuan keamanan daya dalam memenuhi penyediaan tenaga listrik untuk memenuhi kelanjutan pasokan daya.

2.3 Ranking Kontingensi

Rangking kontingensi di lakukan untuk mengetahui saluran terparah pada sistem tenaga listrik. Pada sistem aliran daya yang di gunakan penulis yaitu untuk mencari nilai aliran daya aktif dan reaktif dengan bantuan program MATLAB, yang akan di implementasikan dalam sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui kasus kontingensi harus dilakukan terlebih dahulu pra analisis kontingensi pertama untuk setiap kasus pelepasan saluran. Untuk mengukur rangking kontingensi dapat dilihat dari pringkat *performance index* (PI). Nilai PI dapat diketahui dengan melakukan perhitungan pada persamaan sebagai berikut [4] :

$$\text{PI} = \sum_{semua\ saluran} \left(\frac{P_{flow\ \iota}}{P_{\max \iota}}\right)^{2n} \tag{2.1}$$

Dimana :

PI = *Performance index*

$P_{flow\ i}$ = Daya yang mengalir pada setiap saluran (MW)

$P_{\max i}$ = Kapasitas maksimum setiap saluran (MW)

n = Kostanta rumus dengan nilai 1

Apabila semakin besar nilai PI maka semakin buruk kondisi dari sistem saluran aliran daya. Persamaan performasi indeks diatas apabila $P_{flow\ i}$ bernilai besar maka akan menjadi kecil jika semua aliran pada saluran masih dalam batas dan bisa menjadi besar apabila satu atau lebih saluran *overload* [4]. Nilai PI yang dihasilkan pada skripsi ini akan menjadi besar dikarenakan ada sistem sigma dimana akan ditambahkan seluruh saluran apabila akan mencari nilai PI.

2.4 Fast Decoupled Load Flow

Teori FDLF dipergunakan pada pengoperasian sistem tenaga dalam kondisi tunak. Kondisi tersebut bergantung pada antara daya nyata dengan sudut fasa, tegangan bus, dan antara daya reaktif dengan magnitude tegangan bus[5]. Dalam kondisi ini, adanya perubahan yang kecil pada magnitude tegangan tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya nyata. Dalam perhitungan aliran daya ada beberapa kondisi yang dilakukan oleh sistem dengan menaikkan dan menurukan beban tiap bus , perubahan perbandingan antara R dan X serta pengaruh terhadap sudut fasa. Perhitungan dalam metode FDLF dimulai dengan pembentukan impedansi jaringan (Z_{ij}) dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \tag{2.2}$$

Dimana:

Z_{ij} = Impedansi jaringan antara bus i dan bus j (Ohm)

R_{ij} = Resistansi jaringan antara bus i dan bus j (Ohm)

X_{ij} = Reaktansi jaringan antara bus i dan bus j (Ohm)

Kemudian impedansi jaringan dapat dikonversi ke admitansi jaringan

$$Y_{ij} = \frac{1}{Z} \tag{2.3}$$

dimana

$$Z = R_{ij} + jX_{ij} \tag{2.4}$$

Kemudian matriks admitansi bus Y dibentuk dengan komponen yang terdiri dari admitansi jaringan, kapasitansi saluran dan perubahan tap transformator. Matriks admitansi Y bus yang terbentuk dalam keadaan rectangular diubah menjadi polar. Dimana sebelumnya matriks admitansi Y bus dipisahkan menjadi komponen matriks G (nilai real) dan matriks B (nilai imajiner), lalu mencari daya terjadwal pada setiap bus dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_i{}^{jd} = P_{Gi} - P_{Li} \tag{2.5}$$

$$Q_i{}^{jd} = Q_{Gi} - Q_{Li} \tag{2.6}$$

Dimana

$P_i{}^{jd}$ = Daya aktif terjadwal (MW)

Q_i^{jd} = Daya reaktif terjadwal (Mvar)

P_{Gi} = Daya aktif pembangkitan (MW)

Q_{Gi} = Daya reaktif Pembangkitan (Mvar)

P_{Li} = Daya aktif beban (MW)

Q_{Li} = Daya reaktif beban (Mvar)

Selanjutnya melakukan perhitungan untuk daya aktif dan reaktif terhitung pada saluran dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_i = \sum_{n=1}^{N} \left|Y_{ij}\, V_i\, V_j\right| \cos\left(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i\right) \tag{2.7}$$

$$Q_i = -\sum_{n=1}^{N} \left|Y_{ij}\, V_i\, V_j\right| \sin\left(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i\right) \tag{2.8}$$

Dimana

P_i = Daya aktif terhitung pada bus i (MW)

Q_i = Daya reaktif terhitung pada bus I (Mvar)

V_i , θ_i = Magnitude tegangan dan sudut phasa pada bus I (kV)

V_j , θ_j = Magnitude tegangan dan sudut phasa pada bus j (kV)

Y_{in} , θ_{in} = Admitansi saluran dan sudut phasa elemen matriks admitansi Y

Setelah mendapatkan hasil dari persamaan (2.7) dan (2.8), apabila belum mencapai nilai toleransi yang diinginkan lanjut menghitung selisih daya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta P_i = P_i^{jd} - P_i^{hit} \tag{2.9}$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{jd} - Q_i^{hit} \tag{2.10}$$

Dimana

ΔP_i = Selisih daya aktif bus ke i (MW)

ΔQ_i = Selisih daya reaktif bus ke i (Mvar)

P_i^{jd} = Daya aktif terjadwal (MW)

P_i^{hit} = Daya aktif perhitungan (MW)

Q_i^{jd} = Daya reaktif terjadwal (Mvar)

Q_i^{hit} = Daya reaktif perhitungan (Mvar)

Setelah selisih daya dihitung selanjutnya membentuk matriks jacobian namun pembentukan matriks jacobian pada FDLF berbeda dengan metode NR (Newton-Raphson) perbedaannya yaitu:

1. Perbandingan X/R saluran cukup tinggi jadi nilai $G_{ij} sin\delta_{ij} < B_{ij}$
2. Perbedaan sudut fasa tegangan tiap bus sangat kecil jadi $\sin \delta_{ij} = sin\left(\delta_i - \delta_j\right) \cong \delta_i - \delta_j$

$cos\delta_{ij} = \cos(\delta_i - \delta_j) \cong 1.00$

3. Nilai daya reaktif pada bus Q_i selalu lebih kecil dari nilai $B_{ii}{V_i}^2$
4. Nilai J_2 dan J_3 dianggap 0 seperti berikut dan nilai J_1 diubah menjadi H J_4 menjadi L

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

Dimana dapat diturunkan menjadi persamaan berikut:

$$\Delta P = J_1 \Delta\delta = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right] \Delta\delta \tag{2.12}$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta|V| = \left[\frac{\partial Q}{\partial |V|}\right] \Delta|V| \tag{2.13}$$

Elemen matriks diturunkan dari persamaan (2.12) dan (2.13) menjadi sebagai berikut[6]:

Dimana J_1 dan J_4 sebagai berikut:

$$J_{1_{ij}} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -\left|V_i V_j V_{ij}\right| sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

$$= -\left|V_i V_j\right| sin(\delta_j - \delta_i).B_{ij} \tag{2.14}$$

$$J_{4_{ij}} = \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -\left|V_i V_j V_{ij}\right| sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

$$= -\left|V_i V_j\right| sin(\delta_j - \delta_i).B_{ij} \tag{2.15}$$

Dimana

B_{ij} $= Y_{ij} \sin \theta_{ij}$

Setelah mendapatkan nilai H dan L selanjutnya melakukan perhitungan nilai B’ dan B” sehingga dapat dibuat dengan persamaan berikut:

$$[\Delta P] = [VB'V][\Delta\delta] \tag{2.16}$$

$$[\Delta Q] = [VB''V]\left[\frac{\Delta|V|}{|V|}\right] \tag{2.17}$$

Dimana elemen dari matrik B’ dan B” adalah elemen matriks B dimana dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$B'_{ij} = -\frac{1}{X_{ij}} \quad i \neq j \tag{2.18}$$

$$B'_{ij} = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{X_{ij}} \quad i = j \tag{2.19}$$

$$B'_{ij} = -B_{ij} \tag{2.20}$$

Kemudian persamaan (2.16) dan (2.17) diturunkan menjadi

$$\left[\frac{\Delta P}{V}\right] = [B'][\Delta\delta] \tag{2.21}$$

$$\left[\frac{\Delta Q}{V}\right] = [B''][\Delta V] \tag{2.22}$$

Kemudian perhitungan selanjutnya turunan dari persamaan (2.21) dan (2.22) atau dapat dikenal sebagai persamaan *Fast Decouple Load Flow* yaitu :

$$[\Delta\delta] = [B']^{-1}\left[\frac{\Delta P}{V}\right] \tag{2.23}$$

$$[\Delta V] = [B'']^{-1}\left[\frac{\Delta Q}{V}\right] \tag{2.24}$$

Dengan nilai :

$\Delta\delta$ = Selisih sudut (rad)

ΔP = Selisih daya aktif (MW)

ΔQ = Selisih daya reaktif (Mvar)

Format iterasi pada perhitungan setelah mendapatkan selisih dari persamaan diatas menjadi

$$\Delta P^k = J_1{}^k.\Delta\delta^{k+1} \tag{2.25}$$

$$\Delta Q^k = J_4{}^k.\Delta V^{k+1} \tag{2.26}$$

Perbedaan nilai sudut phasa dan magnitude tegangan pada tiap bus yang lama dengan yang baru dibandingkan dengan nilai toleransi yang telah ditentukan. Jika nilai toleransi belum tercapai maka iterasi diulangi dari awal agar konvergensi tercapai[7]. Setelah konvergensi tercapai dihitung daya pada slack bus dengan rumus:

$$P_i{}^{(k+1)} = R\left\{V_i{}^{(k)}\left[V_i{}^{(k)}\sum_{j=0}^{n} y_{ij} - \sum_{j=1}^{n} y_{ij}V_j{}^{(k)}\right]\right\} \tag{2.27}$$

$$Q_i{}^{(k+1)} = Im\left\{V_i{}^{(k)}\left[V_i{}^{(k)}\sum_{j=0}^{n} y_{ij} - \sum_{j=1}^{n} y_{ij}V_j{}^{(k)}\right]\right\} \tag{2.28}$$

Dimana

P_i = Daya aktif pada slack bus (MW)

Q_i = Daya reaktif pada slack bus (Mvar)

Selain menghitung daya pada slack bus, daya reaktif pada bus PV (bus pembangkit) juga dihitung setelah konvergensi tercapai dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_i{}^{(k+1)} = -\sum_{n=1}^{N}\left|Y_{ij}V_iV_j\right|sin\left(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i\right) \tag{2.29}$$

Dimana

Q_i = Daya reaktif pada bus pembangkit I (Mvar)

Untuk mengetahui nilai aliran daya pada setiap bus dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut :

$$S_{ij} = V_i \left(V_{ij}^* Y_{ij}^* + V_i^* Y_{C_{ij}}^* \right) \tag{2.30}$$

Atau

$$P_{ij} - JQ_{ij} = V_i^* (V_i - V_j) Y_{ij} + V_i^* V_i Y c_{ij} \tag{2.31}$$

Dimana

S_{ij} = Aliran daya kompleks dari bus i ke bus j (kVA)

P_{ij} = Aliran daya aktif dari bus i ke bus j (MW)

Q_{ij} = Aliran daya reaktif dari bus i ke bus j (Mvar)

V_i = Vektor tegangan di bus i (kV)

V_j = Vektor tegangan di bus j (kV)

V_{ij} = Vektor tegangan antara bus i dan bus j (kV)

Y_{ij} = Admitansi antara bus i dan bus j (Ohm)

Yc_{ij} = Admitansi line charging antara bus i dan bus j (Ohm)

Untuk rugi- rugi daya antar bus dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$S_{ij}(losses) = S_{ij} + S_{ji} \tag{2.32}$$

Dimana

$S_{ij}(losses)$ = Rugi daya kompleks dari bus i ke bus j (kVA)

S_{ij} = Daya kompleks dari bus i ke bus j (kVA)

S_{ji} = Daya kompleks dari bus j ke bus I (kVA)

BAB 3
METODOLOGI

3.1 Alur Penelitian

Desain penelitian adalah suatu tahapan atau penggambaran yang akan dilakukan dalam penelitian, untuk memudahkan peneliti dalam melakukan peneltian, maka diperlukan suatu alur penelitian. Langkah awal dari penelitian ini yaitu mencari studi literatur yang dimana studi literatur tersebut digunakan untuk membandingkan setiap metode yang digunakan dalam penyelesaian masalah CA dalam sistem tenaga listrik. Setelah membandingkan maka peneliti akan dapat memutuskan metode mana yang sesuai dan bisa dilakukan untuk memecahkah permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini.

Setalah selesai mengumpulkan studi literatur sebagai dasar pemilihan metode, selanjutnya adalah mempersiapkan segala data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan CA dan *software* (perangkat lunak) yang akan digunakan guna membantu dalam memecahkan permasalahan komputasi.

Dalam permasalahan CA peneliti akan membuat suatu koding dengan menggunakan MATLAB. Dalam permasalahan CA dibutuhkan data-data yang berhubungan dengan analisis kontingensi seperti data sistem tenaga listrik, dimana didalamnya terdapat nilai bus nilai daya aktif dan reaktif.

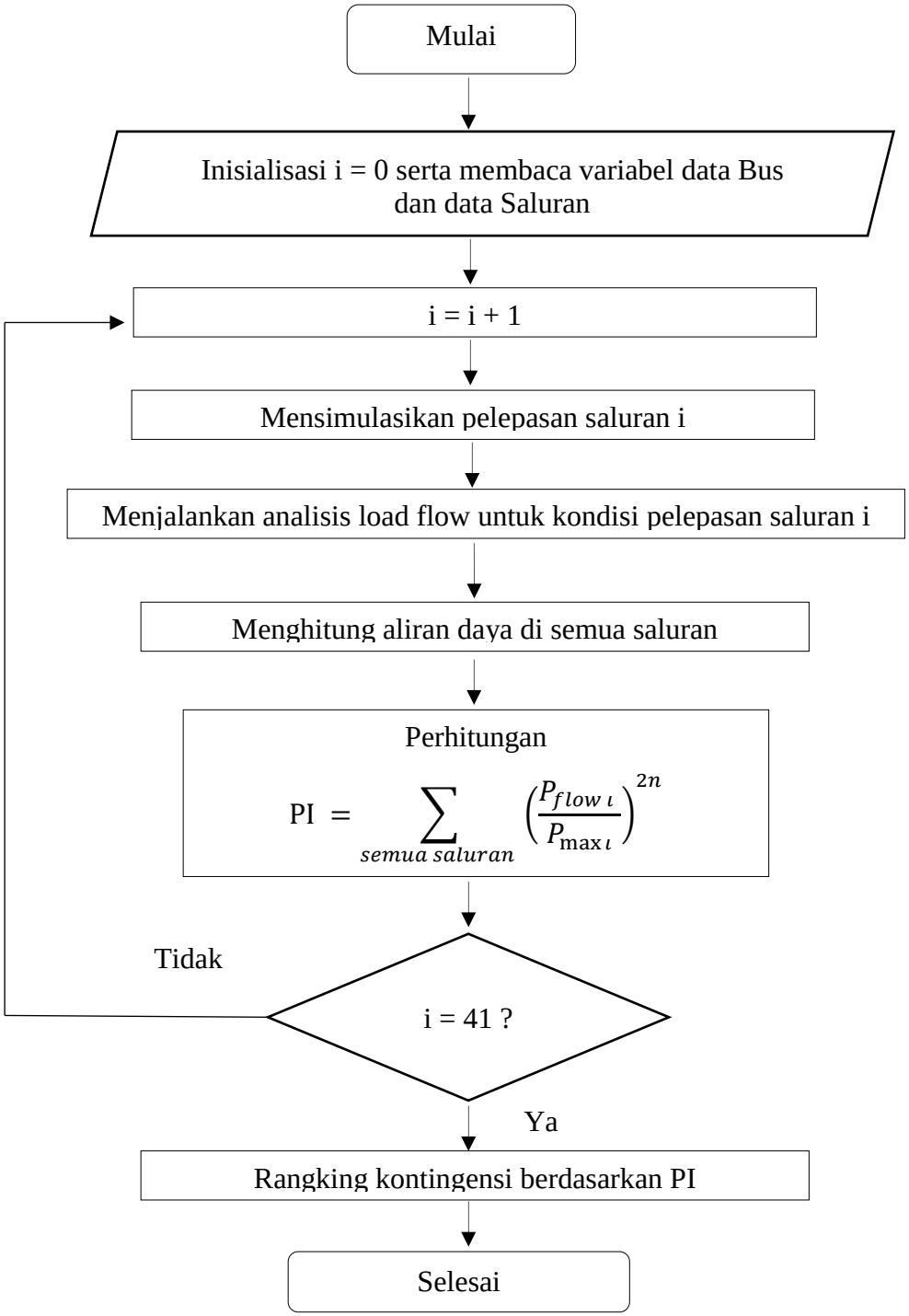
Langkah selanjutnya yaitu memasukkan data bus untuk dilakukan CA ke koding utama metode FDLF pada MATLAB lalu disimulasikan[8]. dimana FDLF akan mengiterasi dengan jumlah yang telah ditentukan agar dapat mengeluarkan nilai daya yang digunakan untuk melakukan rangking pada CA

Setelah koding disimulasikan maka akan keluar hasil dari komputasi dari MATLAB yang berupa data sebagai berikut:

1. Daya aktif setiap saluran
2. Daya reaktif
3. Nilai losess

Setelah semua hasil simulasi sudah didapat tahapan selanjutnya adalah melakukan kejadian kontingensi N-1 dan lakukan kembali *loadflow* melalui aplikasi MATLAB setelah dapat hasil dari load flow langsung melakukan dengan merangking sesuai dengan indeks performa, setelah mendapatkan hasil lalu menganalisa dari nilai komputasi tersebut apakah hasil dari komputasi tersebut sudah sesuai dengan hasil yang diharapkan.

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah membuat kesimpulan dan saran dari data yang telah didapat dari penelitian, dimana pada kesimpulan berisikan hal-hal yang dianggap poin penting dari penelitian ini dan saran yang berisi tentang masukan guna kelanjutan penelitian ini. Gambar 3.1 menunjukkan alur dari diagram alir penelitian:



Gambar 3. 1 *Flowchart* alur penelitian

3.2 Perancangan Sistem Simulasi

Simulasi pemecahan masalah CA dengan metode FDLF ini menggunakan *software* MATLAB. Didalam FDLF cara kerja nya sangat mempengaruhi pengoperasian tenaga dalam kondisi tunak, metode FDLF sangat bergantung pada daya aktif, reaktif dan dengan magnitude tegangan bus[5]. Parameter yang berkaitan dengan FDLF yaitu antara P dan δ serta antara Q dan V. FDLF sendiri terdapat dari subsitusi metode load flow NR yang mengabaikan nilai matrik jacobian dan diganti dengan matriks admitasi Y pada persamaan (2.4) untuk membentuk matriks B' dan B" dengan persamaan (2.23) dan persamaan (2.24) diatas.

Setelah didapatkan nilai aliran daya dari FDLF tindakan selanjutnya yaitu menentukan nilai performasi indeks untuk mengetahui nilai keaadan saluran agar dapat di lihat rangking PI sesuai dengan persamaan (2.1) diatas.

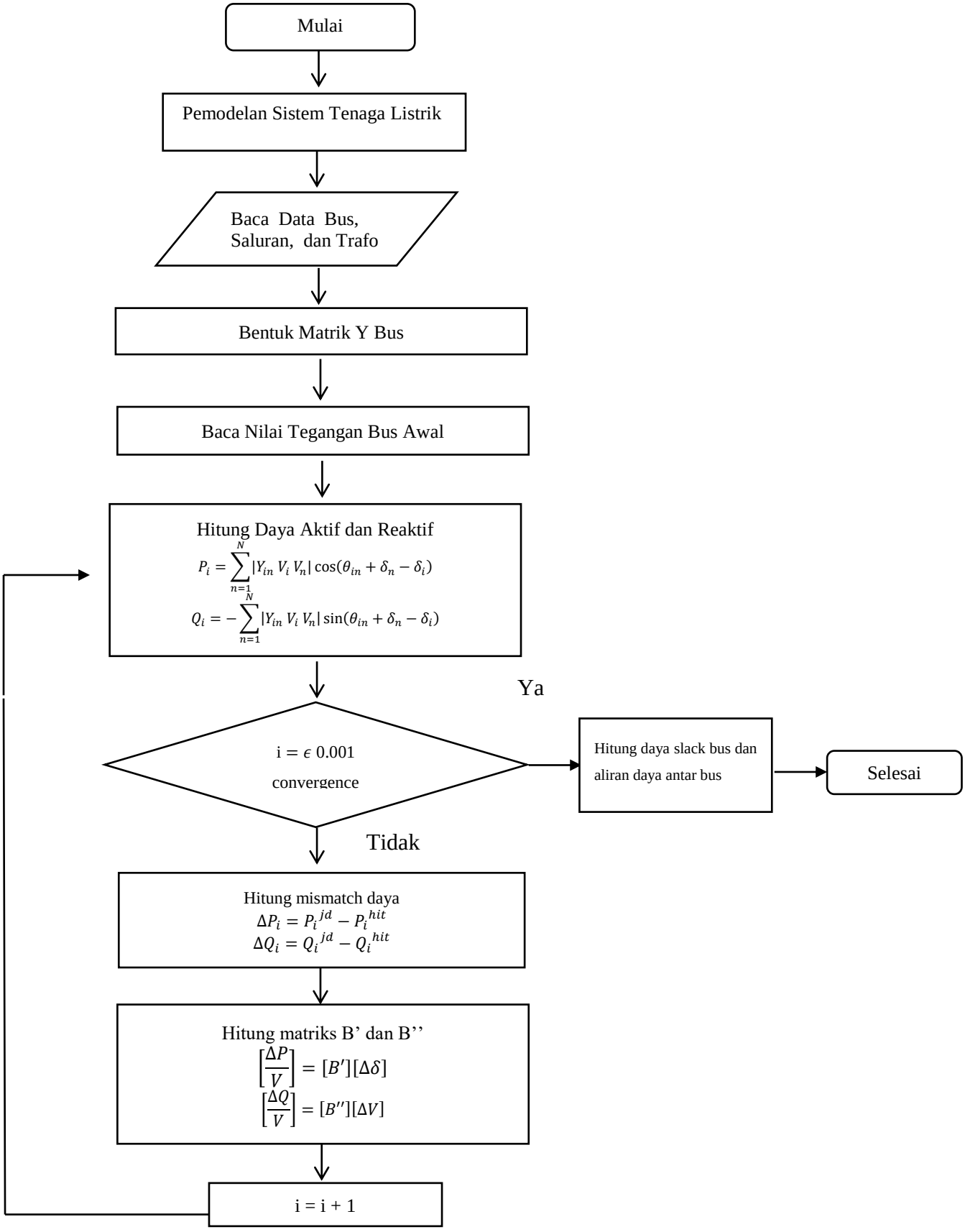
Dalam perancangan ini kontingensi yang dipilih berdasarkan saluran pada sistem yang memiliki pembangkit agar melihat apa yang terjadi pada sistem apabila saluran tersebut diputus dan bagaimana reaksi saluran lain yang berada pada aliran pembakitan yang dilakukan kontingensi tersebut. Kontingensi yang dilakukan hanya N-1 dan untuk membantu perhitungan, penulis menggunakan bantuan *software* MATLAB untuk komputasi aliran daya pada sistem 30 Bus IEEE

3.3 Implementasi Metode

Simulasi pemecahan masalah CA ini menggunakan *software* MATLAB akan diimplementasikan pada sistem IEEE 30 BUS. Dengan metode FDLF permasalahan CA dapat diselesaikan dengan sangat cepat di banding metode NR dan Gauss-Siedel karna metode FDLF lebih cepat mencapai nilai konvergen. Yang membedakan metode FDLF dengan NR yaitu tidak menggunakan lagi nilai matriks jacobian, matriks tersebut di ganti dengan matriks Y kemudian matriks jacobian di subsitusikan menjadi matrik B' dan B''.

Selanjutnya pada permasalaahan CA dibutuhkan parameter-parameter untuk membantu penyelesaiannya seperti dibutuhkannya nilai toleransi yang akan di butuhkan saat berjalannya program, dan pada metode FDLF nilai output yang diambil untuk di lakukakan tahap selanjutnya setelah load flow yaitu dengan melakukan iterasi untuk menentukan nilai sampai konvergen, apabila nilai belum mencapai konvergen maka harus melakukan set ulang pada rumus ΔP dan nilai sudut tegangan apabila nilai belum juga konvergen mungkin ada kesalahan saat melakukan iterasi apabila $i = \epsilon\ 0.001$ tidak mencapai nilai konvergen juga maka ada nilai pada data yang erorr [6].

Berikut Gambar 3.2 menunjukkan *flowchart* dari sistem kerja dari simulasi MATLAB yang akan dilakukan untuk memecahkan permasalahan CA dengan metode FDLF.



Gambar 3. 2 *Flowchart* Metode *Fast Decoupled Loadflow*

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi

Pada hasil perancangan metode pada bab 3 yang telah di implementasikan pada sistem tenaga listrik 30 bus IEEE yang terdapat data bus, data saluran, data beban pada bus, data daya pembangkitan generator, data resistansi, data reaktansi data suseptansi dan data tap seting transformator.

Untuk mencapai hasil keluaran daya yang telah dilakukan penulis dalam penelitian ini, agar menghasilkan nilai yang akurasinya tinggi maka diperlukan parameter untuk memenuhi metode FDLF yang telah di sebutkan pada Bab 3 yakni

1. Nilai Base MVA : 100
2. Nilai Toleransi : 0,001
3. Nilai Maxiter : 55

Jika nilai yang ditentukan dari parameter tersebut sudah berhasil mencapai konvergen maka hasil keluaran pada komputasi menggunakan MATLAB akan maksimal. Tujuan dalam *load flow* dengan metode FDLF ini yaitu agar mendapatkan nilai daya aktif , sehingga mempermudah untuk merangking berdasarkan PI yang terdapat pada aliran daya antar saluran pada sistem 30 bus IEEE.

4.2 Simulasi Kontingensi N-1

Setelah melakukan komputasi dengan menggunakan MATLAB maka dapat nilai P disetiap saluran, dimana nilai tersebut akan digunakan untuk mencari nilai PI dengan menggunakan persamaan (2.1). setelah mendapatkan nilai PI, nilai tersebut langsung di ranking dari nilai terbesar hingga terkecil, untuk melihat saluran mana saja yang melewati batas tegangan. Analisa pada simulasi ini bergantung pada nilai PI untuk mengetahui saluran mana yang kritis apa bila terjadi kontingensi N-1 pada sistem 30 Bus IEEE. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.1 Hasil komputasi MATLAB nilai PI dan Rangking pada sistem 30 Bus IEEE.

Tabel 4. 1 Hasil komputasi MATLAB nilai PI dan rangking saat kontingensi N-1

NO	Saluran Bus		Nilai PI	Rangking
	Dari Bus	Ke Bus		
1	1	2	18,5736	1
2	4	12	15,9458	2
3	2	5	15,8222	3
4	27	30	13,9674	4
5	1	3	13,1685	5
6	3	4	12,4032	6
7	29	30	11,6274	7
8	4	6	11,459	8
9	9	11	11,1094	9
10	6	9	11,0023	10
11	10	20	10,8568	11
12	6	28	10,6568	12
13	2	6	10,494	13
14	6	8	10,4757	14
15	12	15	10,4264	15
16	27	28	10,2953	16
17	18	19	10,2903	17
18	19	20	10,2868	18
19	10	21	9,9075	19
20	6	10	9,8478	20
21	15	23	9,8278	21
22	12	16	9,807	22
23	27	29	9,8018	23
24	12	14	9,7513	24
25	25	27	9,6509	25
26	22	24	9,6223	26
27	10	22	9,593	27
28	10	17	9,5902	28

Tabel 4. 1Hasil komputasi MATLAB nilai PI dan rangking saat kontingensi N-1(lanjutan)

NO	Saluran Bus		Nilai PI	Rangking
	Dari bus	Ke bus		
29	15	18	9,5409	29
30	16	17	9,4848	30
31	23	24	9,4496	31
32	21	22	9,4014	32
33	14	15	9,3907	33
34	24	25	9,3763	34
35	8	28	9,3757	35
36	2	4	9,2211	36
37	5	7	9,0513	37
38	6	7	8,8132	38
39	25	26	0	39
40	9	10	0	40
41	12	13	0	41

Tabel 4.1 menunjukan hasil keluaran nilai PI dan rangking pada saluran sistem tenaga 30 bus IEEE dengan kontingensi N-1 dan metode aliran daya FDLF, dapat dilihat pengaruh saat terjadi kontingensi N-1 pada setiap saluran sistem tenaga, nilai PI terbesar terdapat pada saluran 1-2 karena pada saluran tersebut terdapat *slack bus* sebesar 18,5736. Nilai tersebut besar karena pada dasarnya *slack bus* yaitu bus pembantu apabila ada bus yang membutuhkan daya agar tidak terjadi drop terlalu jauh yang dapat menyebabkan *overload*. Kontingensi N-1 sangat berpengaruh kepada peramalan sistem tenaga apabila ada terjadi sebuah gangguan pada satu atau lebih pada saluran, generator, maupun pembangkit.

Pada kontingensi N-1 saluran yang besar setelah saluran 1-2 yang merupakan *slack* bus ada 5 saluran yang memiliki nilai PI besar yaitu pada saluran 4-12 dengan nilai PI 15,9458 saluran 2-5 dengan PI 15,8222, saluran 27-30 dengan PI 13,9674, dan saluran 3-4 dengan PI 12,4032 saluran tersebut melebihi batas operasi karena pada saluran 4-12 dan 2-5 di suplay oleh generator yang sama yaitu generator 2. Dimana beban yang di tanggung oleh generator 2 sangat besar, sama halnya dengan saluran 27-30 yaitu disuplay generator 6 untuk saluran 1-3 dan 3-4 karena di suplay oleh generator 1 maka nilai PI nya tidak terlalu besar, itu disebabkan generator tersebut

memiliki nilai yang besar. Selanjutnya saluran 27-28 dengan PI 10,2953 dan 19-20 dengan PI 10,286 berada pada *range* tengah, dikarenakan saluran tersebut saat terjadi kontingensi N-1 masih mampu mentoleransi besar daya yang mengalir antar bus agar tidak terlepas dari sistem karena *overload* pada satu saluran. Untuk memperbaiki daya yang *overload* perlunya penambahan daya pada generator saluran yang terdekat dengan pelepasan saluran. Daya yang menampung agar mampu mentoleransi pada saluran-saluran yang dalam *range* dengan nilai PI 10 ini terdapat dari daya yang disuplay oleh generator yang berbeban besar. Untuk nilai PI dalam *range* bawah yaitu pada saluran 8-28 dengan PI 9,3757, saluran 2-4 dengan PI 9,2211, saluran 5-7 dengan PI 9,0513, dan saluran 6-7 dengan PI 8,8132, untuk saluran tersebut memiliki nilai PI kecil dikarenakan minimnya keadaan *overload* saat dilakukan kontingensi N-1 pada saluran tersebut, hal ini dikarenakan beban yang tidak terlalu besar pada saluran *range* bawah dan masih mampu menopang daya yang tidak terlalu besar. Pada saluran 25-26 bernilai 0 dikarenakan beban tidak mampu menahan beban, pada saluran 25-26 di suplay oleh 1 *feeder* maka dari itu nilai tidak keluar saat dilakukan komputasi melalui *software* MATLAB, kemudian untuk saluran 9-10 dan 12-13 PI nya bernilai nol karena saluran tersebut tidak terhubung dalam sistem tenaga 30 bus IEEE jadi saluran yang aktif atau saling terinterkoneksi terdapat 39 saluran transmisi yang terhubung dalam 30 bus dan 6 pembangkit.

4.3 Analisis lanjutan kontingensi dengan nilai PI tertinggi

Dari hasil simulasi kontingensi N-1 yang dilakukan pada sistem 30 bus IEEE dapat dilihat pada Tabel 4.1saluran 1-2 merupakan saluran yang tertinggi dengan nilai PI 18,5736 hal ini telah dibuktikan dengan simulasi pada MATLAB untuk membantu perhitungan. Tabel 4.2 menunjukan hasil pembebanan terparah pada saat terjadinya kontingensi N-1 pada saluran 1-2.

Tabel 4. 2 Hasil pembebanan terparah pada pelepasan saluran 1-2

No	Saluran Bus		Kapasitas Saluran (MW)	Daya Aktif Saluran (MW)	Keterangan
	Dari Bus	Ke Bus			
1	1	3	130	308,605	Tidak Aman
2	3	4	130	264,992	Tidak Aman
3	4	6	90	155,644	Tidak Aman
4	6	7	130	65,324	Aman
5	2	5	130	55,696	Aman

Tabel 4.2 menunjukan hasli pembebanan terparah pada saluran 1-2 dan terdapat 5 saluran teratas yang memiliki pembebanan terparah saat dilakukan kontingensi pada saluran tersebut, apabila tidak di lakukan perbaikan maka dampak dari overload akan mempengaruhi sistem tenaga. Urutan pertama pada kontingensi saluran 1-2 yaitu saluran 1-3 dengan nilai daya aktif sebesar 308,605 MW. Saluran 1-3 memiliki nilai kapasitas saluran sebesar 130 MW, dari hasil dapat dilihat saluran 1-3 mengalami *overload* karena nilai daya pada saluran melebihi batas maksimummya. Solusi untuk mengatasi *overload* pada saluran 1-3 yaitu menambah daya kapasitas saluran dari 130 MW menjadi 350 MW agar tidak terjadi *overload* pada saluran tersebut. Selanjutnya saluran 3-4 dengan nilai daya aktif saluran sebesar 264,992 MW. saluran 3-4 memiliki kapasitas maksimum saluran sebesar 130 MW dan nilai daya aktif saluran saat dilakukan kontingensi pada saluran 1-2 menjadi sebesar 264,992 MW, maka saluran 3-4 juga mengalami overload karena daya saluran melebihi batas kapasitas saluran. Untuk memperbaiki saluran tersebut dapat ditambah nilai batas kapasitas maksimum salurannya dari 130 MW menjadi 300 MW agar tidak terjadi *overload*. pada urutan ketiga pada saluran 4-6 dengan nilai daya aktif saluran sebesar 155,644 MW dengan kapasitas maksimum saluran 90 MW saluran 4-6 mengalami overload karena melebihi batas maksimum kapasitas saluran, untuk mengatasi pembebanan berlebih ini dapat ditambah batas maksimum kapasitas saluran dari 90 MW menjadi 160 MW agar tidak terjadi pemadaman pada saluran tersebut dikarenakan saluran overload. Pada urutan 4 dan 5 yaitu saluran 6-7 dan 2-5 dikatakan aman karena nilai daya aktif saluran pada saluran tidak melebihi batas maksimum kapasitas saluran. Saluran 6-7 memiliki daya aktif saluran sebesar 65,324 MW sedangkan batas kapasitas maksimum saluran sebesar 130 MW dan saluran 2-5 memiliki daya aktif saluran sebesar 55,324 MW dan batas maksimum saluran sebesar 130 MW.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dalam simulasi CA dengan metode FDLF pada *software* MATLAB dan perhitungan nilai PI untuk melihat rangking dalam permasalahan kontingensi N-1 pada sistem 30 bus IEEE dapat di tarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai PI terbesar dalam sistem 30 bus IEEE saat dilakukakan kontingensi N-1 berbasis metode FDLF terdapat pada saluran 1-2 dengan PI 18,5736, karena pada saluran tersebut terdapat *slack* bus yang merupakan bus terbesar untuk referensi pada sistem apabila kekurangan daya. Kemudian terdapat 5 bus dengan PI yang besar juga yaitu pada saluran saluran 4-12 PI 15,9458, saluran 2-5 PI 15,8222, saluran 27-30 PI 13,9674, saluran 1-3 PI 13,1685, dan saluran 3-4 PI 12,4032. Saluran tersebut melebihi batas operasi karena pada saluran 4-12 dan 2-5 di suplay oleh generator yang sama yaitu generator 2 dimana beban yang di tanggung oleh generator 2 sangat besar. PI terkecil terdapat pada saluran 6-7 dengan PI 8,8132, karena pada saluran tersebut saat dilakukan kontingensi N-1 sangat minim terjadinya *overload* karena beban pada saluran tersebut tidak besar. untuk memperbaiki saluran yang besar dapat dilakukan penambahan kapasitas pada generator, menambah saluran transmisi baru dan membuat pola pemadaman paa sistem tenaga.
2. Rangking tertinggi pada kontingensi N-1 pada sistem 30 bus IEEE yaitu saluran 1-2. Untuk mengidentifikasi saluran 1-2 *overload* dilakukan dengan melihat hasil pelepasan saluran 1-2, dan terdapat 3 saluran yang mengalami *overload* yaitu saluran 1-3 dengan nilai daya aktif sebesar 308,605 MW, saluran 3-4 dengan nilai daya aktif saluran sebesar 264,992 MW dan saluran 4-6 dengan nilai daya aktif saluran sebesar 155,644 MW. saluran tersebut overload karena melebihi batas maksimum saluran, sehingga dapat diperbaiki dengan menambah kapasitas maksimum pada saluran yang *overload* agar tidak terjadi pemadaman bertingkat dan bisa menimbulkan efek pemadaman total pada sistem tenaga.

5.2 Saran

Dalam upaya kontingensi pada sistem tenaga disarankan untuk penelitian berikutnya diharapkan untuk :

1. Menganalisa *losses* (rugi-rugi daya) pada sistem tenaga agar hasil lebih signifikan.
2. Menambah nilai kontingensi dalam penelitian agar dapat mengetahui beberapa kejadian kedepan baik itu pada saluran maupun pada pembangkitan.
3. Untuk memperbaiki saluran *overload* dapat dilakukan penambahan batas kapasitas maksimum saluran agar sistem aman dan andal.
4. Melakukan percobaan dengan menggunakan data *real* pada sistem tenaga di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Rachman, "Analisis Kontingensi Pada Sistem Jawa-Bali 500kV untuk Mendesain Keamanan Operasi," *Proceeding Semin. Tugas Akhir Jur. Tek. Elektro FTI-ITS*, vol. 1, pp. 1–6, 2011.

[2] D. Fajar, U. Putra, O. Penangsang, and A. Soeprijanto, "Analisis Kontingensi Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat," *Proc. Semin. Tugas Akhir Jur. Tek. Elektro FTI – ITS.*, vol. 1, pp. 1–6, 2007.

[3] S. Gongada, T. S. Rao, P. Mallikarjuna, and S. Salima, "Power System Contingency Ranking using Fast Decoupled Load Flow Method," *Int. Conf. Electr. Electron. Optim. Tech.*, vol. 23, pp. 4373–4376, 2016.

[4] G. B. S. Allen J.Wood, Bruce F. Wollenberg, *Power Generation, Operation, and Control*, 3rd ed. New Jersey: by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013.

[5] D. Sulistiyono, "Perbandingan Metode Gauss - Seidel, Metode Newton-Raphson dan Metode Fast Decoupled dalam Solusi Aliran Daya," *Makal. Tugas Akhir Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Diponegoro*, vol. 1, pp. 1–10, 2013.

[6] R. Vykuka and L. Nohá, "Fast-Decoupled Method for Contingency Analysis," *Dep. Electr. Power Eng. Ecol. Univ. West Bohemia Pilsen,Czech Repub.*, vol. 1, pp. 1–4, 2014.

[7] H. D. Laksono, "Studi Aliran Daya dengan Metode Fast Decoupled (Aplikasi PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV)," *Tugas Akhir Jur. Tek. Elektro, Univ. Andalas Padang*, vol. 3, no. 27, pp. 11–18, 2007.

[8] H. Saadat, *Power System Analysis*, 1st ed. Milwaukee, Wisconsin: McGraw-Hill, Inc, 1999.

LAMPIRAN

- **Data Sistem 30 Bus IEEE**

Appendix – A
DATA FOR IEEE-30 BUS TEST SYSTEM

The IEEE – 30 bus test system is shown in figure A.1. The system data is taken from references [3]. The generator cost and emission coefficients, load, shunt capacitor data and transmission lines are provided in the Tables A.1, A.2, A.3 and A.4 respectively. The cost coefficients of IEEE-30 bus system are slightly modified to incorporate non-smooth fuel cost functions with ramp rate coefficients as given in Table A.5. The data is on 100 MVA base. For all analysis on this system V_i^{min}, V_i^{max}, ϕ_i^{min} and ϕ_i^{max} for bus i are considered to be 0.9 p.u., 1.1 p.u., -45 degree and +45 degree respectively.

Table A.1. Generator Cost and Emission Coefficients

Gen No.	P_i^{min} (MW)	P_i^{max} (MW)	Q_i^{min} (MVAr)	Q_i^{max} (MVAr)	a_i	b_i	c_i	α_i	β_i	γ_i
1.	50	200	-	-	0.00375	2.00	0	0.0126	-1.1000	22.983
2.	20	80	-20	100	0.01750	1.75	0	0.0200	-0.1000	25.313
3.	15	50	-15	80	0.06250	1.00	0	0.0270	-0.0100	25.505
4.	10	35	-15	60	0.00834	3.25	0	0.0291	-0.0050	24.900
5.	10	30	-10	50	0.02500	3.00	0	0.0290	-0.0040	24.700
6.	12	40	-15	60	0.02500	3.00	0	0.0271	-0.0055	25.300

Table A.2. Load Bus Data

Bus No.	Load		Bus No.	Load	
	P (MW)	Q (MVAr)		P (MW)	Q (MVAr)
1	0.00	0.00	16	3.50	1.80
2	21.7	12.7	17	9.00	5.80
3	2.40	1.20	18	3.20	0.90
4	7.60	1.60	19	9.50	3.40
5	94.2	19.0	20	2.20	0.70
6	0.00	0.00	21	17.5	11.2
7	22.8	10.9	22	0.00	0.00
8	30.0	30.0	23	3.20	1.60
9	0.00	0.00	24	8.70	6.70
10	5.80	2.00	25	0.00	0.00
11	0.00	0.00	26	3.50	2.30
12	11.2	7.50	27	0.00	0.00
13	0.00	0.00	28	0.00	0.00
14	6.20	1.60	29	2.40	0.90
15	8.20	2.50	30	10.6	1.90

Table A.3. Shunt Capacitor Data

Bus No.	Susceptance
10	19
24	4

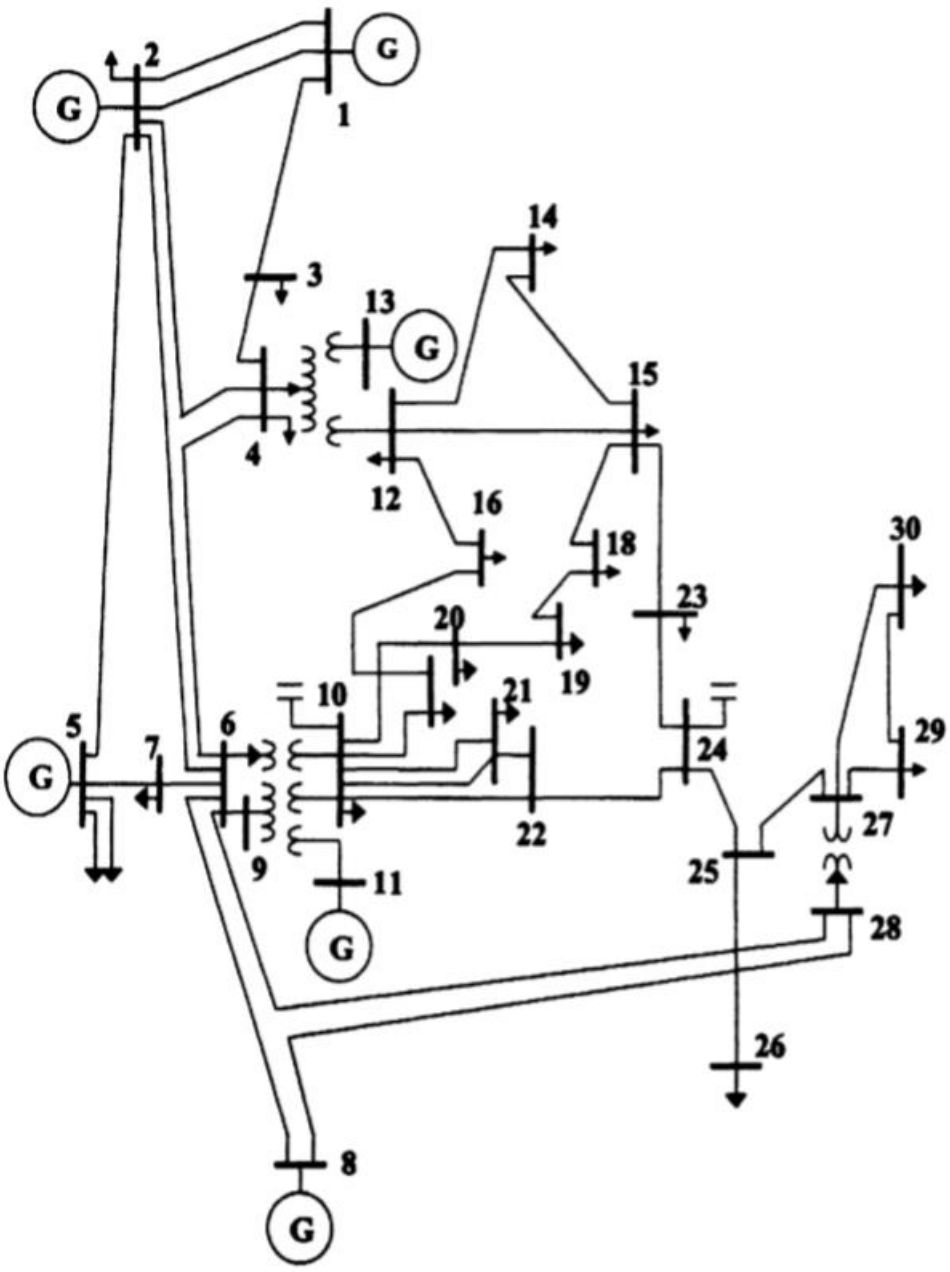


Fig. A.1. One line diagram - IEEE-30 Bus System

Single line diagram sistem 30 bus IEEE

Data line

Table A.4. Transmission Line Data

Line No.	From Bus	To Bus	Series Impedance (p.u)		Half Line Charging susceptance (p.u.)	Tap Setting	MVA Rating	Annual Cost (K$/year)
			R	X				
1.	1	2	0.01920	0.05750	0.02640	-	130	216.6125
2.	1	3	0.04520	0.18520	0.02040	-	130	307.2875
3.	2	4	0.05700	0.17370	0.01840	-	65	509.9500
4.	3	4	0.01320	0.03790	0.00420	-	130	700.0000
5.	2	5	0.04720	0.19830	0.02090	-	130	721.5250
6.	2	6	0.05810	0.17630	0.01870	-	65	168.1750
7.	4	6	0.01190	0.04140	0.00450	-	90	474.3000
8.	5	7	0.04600	0.11600	0.01020	-	70	62.0000
9.	6	7	0.02670	0.08200	0.00850	-	130	130.2000
10.	6	8	0.01200	0.04200	0.00450	-	32	104.6250
11.	6	9	0.00000	0.20800	0.00000	1.0155	65	306.9000
12.	6	10	0.00000	0.55600	0.00000	0.9629	32	20.9250
13.	9	11	0.00000	0.20800	0.00000	-	65	83.7000
14.	9	10	0.00000	0.11000	0.00000	-	65	927.6750
15.	4	12	0.00000	0.25600	0.00000	1.0129	65	554.1250
16.	12	13	0.00000	0.14000	0.00000	-	65	15.1125
17.	12	14	0.12310	0.25590	0.00000	-	32	30.2250
18.	12	15	0.06620	0.13040	0.00000	-	32	97.6500
19.	12	16	0.09450	0.19870	0.00000	-	32	179.0250
20.	14	15	0.22100	0.19970	0.00000	-	16	124.7750
21.	16	17	0.08240	0.19320	0.00000	-	16	146.4750
22.	15	18	0.10700	0.21850	0.00000	-	16	80.6000
23.	18	19	0.06390	0.12920	0.00000	-	16	235.6000
24.	19	20	0.03400	0.06800	0.00000	-	32	186.0000
25.	10	20	0.09360	0.20900	0.00000	-	32	117.8000
26.	10	17	0.03240	0.08450	0.00000	-	32	167.4000
27.	10	21	0.03480	0.07490	0.00000	-	32	160.4250
28.	10	22	0.07270	0.14990	0.00000	-	32	195.3000
29.	21	22	0.01160	0.02360	0.00000	-	32	166.2375
30.	15	23	0.10000	0.20200	0.00000	-	16	100.7500
31.	22	24	0.11500	0.17900	0.00000	-	16	40.3000
32.	23	24	0.13200	0.27000	0.00000	-	16	65.1000
33.	24	25	0.18850	0.32920	0.00000	-	16	210.8000
34.	25	26	0.25440	0.38000	0.00000	-	16	204.6000
35.	25	27	0.10930	0.20870	0.00000	-	16	83.7000
36.	28	27	0.00000	0.36900	0.00000	0.9581	65	223.2000
37.	27	29	0.21980	0.41530	0.00000	-	16	160.4250
38.	27	30	0.32020	0.60270	0.00000	-	16	90.6750
39.	29	30	0.23990	0.45330	0.00000	-	16	216.6125
40.	8	28	0.06360	0.20000	0.02140	-	32	54.2500
41.	6	28	0.01690	0.05990	0.00650	-	32	210.8000

- **Koding MATLAB 1**

```
-  %  Bus Admittance Matrix
-  %  Copyright (c)  1998 by H. Saadat.
-
-  function[Ybus] = ybus(zdata)
-  nl=zdata(:,1); nr=zdata(:,2); R=zdata(:,3); X=zdata(:,4);
-  nbr=length(zdata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
-  Z = R + j*X;                              %branch impedance
-  y= ones(nbr,1)./Z;                       %branch admittance
-  Ybus=zeros(nbus,nbus);          % initialize Ybus to zero
-  for k = 1:nbr;   % formation of the off diagonal elements
-      if nl(k) > 0 & nr(k) > 0
-      Ybus(nl(k),nr(k)) = Ybus(nl(k),nr(k)) - y(k);
-      Ybus(nr(k),nl(k)) = Ybus(nl(k),nr(k));
-      end
-  end
-  for n = 1:nbus       % formation of the diagonal elements
-      for k = 1:nbr
-      if nl(k) == n | nr(k) == n
-      Ybus(n,n) = Ybus(n,n) + y(k);
-      else, end
-      end
-  end
-
```

- **Koding MATLAB 2**

```
-  %   Fast Decoupled Power Flow Solution
-  %   Copyright (c)1998 by Hadi Saadat.
-
-  ns=0; Vm=0; delta=0; yload=0; deltad=0;
-
-  nbus = length(busdata(:,1));
-  for k=1:nbus
-  n=busdata(k,1);
-  kb(n)=busdata(k,2); Vm(n)=busdata(k,3); delta(n)=busdata(k, 4);
-  Pd(n)=busdata(k,5); Qd(n)=busdata(k,6); Pg(n)=busdata(k,7); Qg(n) =
   busdata(k,8);
-  Qmin(n)=busdata(k, 9); Qmax(n)=busdata(k, 10);
-  Qsh(n)=busdata(k, 11);
-      if Vm(n) <= 0  Vm(n) = 1.0; V(n) = 1 + j*0;
-      else delta(n) = pi/180*delta(n);
-           V(n) = Vm(n)*(cos(delta(n)) + j*sin(delta(n)));
-           P(n)=(Pg(n)-Pd(n))/basemva;
-           Q(n)=(Qg(n)-Qd(n)+ Qsh(n))/basemva;
-           S(n) = P(n) + j*Q(n);
-      end
-  if kb(n) == 1, ns = ns+1; else, end
-  nss(n) = ns;
-  end
-  Ym = abs(Ybus); t = angle(Ybus);
```

```
-   ii=0;
-   for ib=1:nbus
-        if kb(ib) == 0 | kb(ib) == 2
-        ii = ii+1;
-         jj=0;
-            for jb=1:nbus
-                if kb(jb) == 0 | kb(jb) == 2
-                jj = jj+1;
-                B1(ii,jj)=imag(Ybus(ib,jb));
-                else,end
-            end
-        else, end
-   end
-
-   ii=0;
-   for ib=1:nbus
-        if kb(ib) == 0
-        ii = ii+1;
-         jj=0;
-            for jb=1:nbus
-                if kb(jb) == 0
-                jj = jj+1;
-                B2(ii,jj)=imag(Ybus(ib,jb));
-                else,end
-            end
-        else, end
-   end
-   B1inv=inv(B1); B2inv = inv(B2);
-
-   maxerror = 1; converge = 1;
-   iter = 0;
-   % Start of iterations
-   while maxerror >= accuracy & iter <= maxiter % Test for max. power
    mismatch
-   iter = iter+1;
-   id=0; iv=0;
-   for n=1:nbus
-   nn=n-nss(n);
-   J11=0;  J33=0;
-      for i=1:nbr
-        if nl(i) == n | nr(i) == n
-           if nl(i) == n,  l = nr(i); end
-           if nr(i) == n,  l = nl(i); end
-           J11=J11+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
-           J33=J33+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
-        else , end
-      end
-      Pk = Vm(n)^2*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J33;
-      Qk = -Vm(n)^2*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J11;
-      if kb(n) == 1 P(n)=Pk; Q(n) = Qk; end   % Swing bus P
```

```
-       if kb(n) == 2  Q(n)=Qk;
-           Qgc = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
-           if Qmax(n) ~= 0
-             if iter <= 20                % Between the 1th & 6th
   iterations
-               if iter >= 10              % the Mvar of generator buses
   are
-                 if Qgc  < Qmin(n),       % tested. If not within limits
   Vm(n)
-                 Vm(n) = Vm(n) + 0.005;   % is changed in steps of 0.05 pu
   to
-                 elseif Qgc > Qmax(n),    % bring the generator Mvar
   within
-                 Vm(n) = Vm(n) - 0.005;end % the specified limits.
-               else, end
-             else,end
-           else,end
-       end
-     if kb(n) ~= 1
-     id = id+1;
-       DP(id) = P(n)-Pk;
-       DPV(id) = (P(n)-Pk)/Vm(n);
-     end
-     if kb(n) == 0
-     iv=iv+1;
-       DQ(iv) = Q(n)-Qk;
-       DQV(iv) = (Q(n)-Qk)/Vm(n);
-     end
- end
- Dd=-B1\DPV';
- DV=-B2\DQV';
- id=0;iv=0;
-   for n=1:nbus
-     if kb(n) ~= 1
-     id = id+1;
-     delta(n) = delta(n)+Dd(id); end
-     if kb(n) == 0
-     iv = iv+1;
-     Vm(n)=Vm(n)+DV(iv); end
-   end
-     maxerror=max(max(abs(DP)),max(abs(DQ)));
-    if iter == maxiter & maxerror > accuracy
-    fprintf('\nWARNING: Iterative solution did not converged after ')
-    fprintf('%g', iter), fprintf(' iterations.\n\n')
-    fprintf('Press Enter to terminate the iterations and print the results
   \n')
-    converge = 0; pause, else, end
-
- end
- if converge ~= 1
-    tech= ('                      ITERATIVE SOLUTION DID NOT CONVERGE');
   else,
```

```
-     tech=('                    Power Flow Solution by Fast Decoupled
   Method');
-   end
-   k=0;
-   V = Vm.*cos(delta)+j*Vm.*sin(delta);
-   deltad=180/pi*delta;
-   clear A; clear DC; clear DX
-   i=sqrt(-1);
-   for n = 1:nbus
-        if kb(n) == 1
-        S(n)=P(n)+j*Q(n);
-        Pg(n) = P(n)*basemva + Pd(n);
-        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
-        k=k+1;
-        Pgg(k)=Pg(n);
-        elseif  kb(n) ==2
-        S(n)=P(n)+j*Q(n);
-        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
-        k=k+1;
-        Pgg(k)=Pg(n);
-        end
-   yload(n) = (Pd(n)- j*Qd(n)+j*Qsh(n))/(basemva*Vm(n)^2);
-   end
-   busdata(:,3)=Vm'; busdata(:,4)=deltad';
-   Pgt = sum(Pg);  Qgt = sum(Qg); Pdt = sum(Pd); Qdt = sum(Qd); Qsht =
   sum(Qsh);
-   clear Pk Qk  DP DQ J11 J33 B1 B1inv B2 B2inv DPV  DQV Dd delta ib id ii
   iv jb jj
-
```

- **Koding MATLAB 3**

```
-   %  for the computation of line flow and line losses.
-   %
-   %  Copyright (c) 1998 H. Saadat
-   SLT = 0;
-   fprintf('\n')
-   fprintf('                              Line Flow and Losses \n\n')
-   fprintf('     --Line--  Power at bus & line flow    --Line loss--
   Transformer\n')
-   fprintf('     from  to    MW      Mvar     MVA       MW      Mvar
   tap\n')
-
-   for n = 1:nbus
-   busprt = 0;
-      for L = 1:nbr;
-          if busprt == 0
-          fprintf('   \n'), fprintf('%6g', n), fprintf('      %9.3f',
   P(n)*basemva)
-          fprintf('%9.3f', Q(n)*basemva), fprintf('%9.3f\n',
   abs(S(n)*basemva))
-
-          busprt = 1;
```

```
-         else, end
-         if nl(L)==n      k = nr(L);
-         In = (V(n) - a(L)*V(k))*y(L)/a(L)^2 + Bc(L)/a(L)^2*V(n);
-         Ik = (V(k) - V(n)/a(L))*y(L) + Bc(L)*V(k);
-         Snk = V(n)*conj(In)*basemva;
-         Skn = V(k)*conj(Ik)*basemva;
-         SL  = Snk + Skn;
-         SLT = SLT + SL;
-         elseif nr(L)==n  k = nl(L);
-         In = (V(n) - V(k)/a(L))*y(L) + Bc(L)*V(n);
-         Ik = (V(k) - a(L)*V(n))*y(L)/a(L)^2 + Bc(L)/a(L)^2*V(k);
-         Snk = V(n)*conj(In)*basemva;
-         Skn = V(k)*conj(Ik)*basemva;
-         SL  = Snk + Skn;
-         SLT = SLT + SL;
-         else, end
-           if nl(L)==n | nr(L)==n
-           fprintf('%12g', k),
-           fprintf('%9.3f', real(Snk)), fprintf('%9.3f', imag(Snk))
-           fprintf('%9.3f', abs(Snk)),
-           fprintf('%9.3f', real(SL)),
-               if nl(L) ==n & a(L) ~= 1
-               fprintf('%9.3f', imag(SL)), fprintf('%9.3f\n', a(L))
-               else, fprintf('%9.3f\n', imag(SL))
-               end
-           else, end
-    end
-  end
-  SLT = SLT/2;
-  fprintf('   \n'), fprintf('    Total loss                          ')
-  fprintf('%9.3f', real(SLT)), fprintf('%9.3f\n', imag(SLT))
-  clear Ik In SL SLT Skn Snk
```

Koding MATLAB 4

```
-  %  This program prints the power flow solution in a tabulated form
-  %  on the screen.
-  %
-  %  Copyright (C) 1998 by H. Saadat.
-
-  %clc
-  disp(tech)
-  fprintf('                     Maximum Power Mismatch = %g \n', maxerror)
-  fprintf('                           No. of Iterations = %g \n\n', iter)
-  head =['    Bus  Voltage  Angle    ------Load------    ---Generation---
   Injected'
-         '    No.  Mag.     Degree     MW       Mvar       MW       Mvar
   Mvar '
-         '
   '];
-  disp(head)
-  for n=1:nbus
```

```
-       fprintf(' %5g', n), fprintf(' %7.3f', Vm(n)),
-       fprintf(' %8.3f', deltad(n)), fprintf(' %9.3f', Pd(n)),
-       fprintf(' %9.3f', Qd(n)),  fprintf(' %9.3f', Pg(n)),
-       fprintf(' %9.3f ', Qg(n)), fprintf(' %8.3f\n', Qsh(n))
- end
-      fprintf('      \n'), fprintf('    Total              ')
-      fprintf(' %9.3f', Pdt), fprintf(' %9.3f', Qdt),
-      fprintf(' %9.3f', Pgt), fprintf(' %9.3f', Qgt), fprintf(' %9.3f\n\n',
  Qsht)
-
```

- **Koding MATLAB 5**

```
- clear
- basemva = 100;  accuracy = 0.001; maxiter = 50;
-
- %        IEEE 30-BUS TEST SYSTEM (American Electric Power)
- %        Bus Bus  Voltage Angle   ---Load---- -------Generator-----
  Injected
- %        No  code Mag.    Degree  MW    Mvar  MW  Mvar Qmin Qmax     Mvar
- lfybus                              % form the bus admittance matrix
- decouple1              % Load flow solution by fast decoupled method
- busout               % Prints the power flow solution on the screen
- lineflow           % Computes and displays the line flow and losses
-
```

- Koding Matlab 6

```
- clear all
- clc
- data30;
- basemva = 100;  accuracy = 0.001; maxiter = 55;
- lfybus                              % form the bus admittance matrix
- tic
- decouple1              % Load flow solution by fast decoupled method
- toc
- busout               % Prints the power flow solution on the screen
- lineflow           % Computes and displays the line flow and losses
-
-
```

- Koding matlab 7

```
- clc;
- load dataP.mat
- P=0;
- PII=[];
- for j=1:41
-     for i=1:40
- %     PSaluran=sum(Psaluran(j,:))
-     Pmax(i)
-     Pi=(Psaluran(j,i)/Pmax(i)).^2
-     P=P+Pi;
```

```
-       end
-       PII=[PII;P]
-       P=0;
-   end
```

Data bus Data line

```
%         IEEE 30-BUS TEST SYSTEM (American Electric Power)
%         Bus Bus  Voltage Angle   ---Load---- -------Generator----- Static
Mvar
%         No  code Mag.    Degree  MW    Mvar  MW  Mvar Qmin Qmax    +Qc/-Ql
busdata=[1    1    1.06    0.0      0.0   0.0    0.0  0.0    0    0       0
          2    2    1.043   0.0    21.70  12.7   40.0  0.0  -40   50       0
          3    0    1.0     0.0      2.4   1.2    0.0  0.0    0    0       0
          4    0    1.06    0.0      7.6   1.6    0.0  0.0    0    0       0
          5    2    1.01    0.0     94.2  19.0    0.0  0.0  -40   40       0
          6    0    1.0     0.0      0.0   0.0    0.0  0.0    0    0       0
          7    0    1.0     0.0     22.8  10.9    0.0  0.0    0    0       0
          8    2    1.01    0.0     30.0  30.0    0.0  0.0  -30   40       0
          9    0    1.0     0.0      0.0   0.0    0.0  0.0    0    0       0
         10    0    1.0     0.0      5.8   2.0    0.0  0.0   -6   24      19
         11    2    1.082   0.0      0.0   0.0    0.0  0.0    0    0       0
         12    0    1.0     0        11.2  7.5    0    0      0    0       0
         13    2    1.071   0         0    0.0    0    0     -6   24       0
         14    0    1       0        6.2   1.6    0    0      0    0       0
         15    0    1       0        8.2   2.5    0    0      0    0       0
         16    0    1       0        3.5   1.8    0    0      0    0       0
         17    0    1       0        9.0   5.8    0    0      0    0       0
         18    0    1       0        3.2   0.9    0    0      0    0       0
         19    0    1       0        9.5   3.4    0    0      0    0       0
         20    0    1       0        2.2   0.7    0    0      0    0       0
         21    0    1       0       17.5  11.2    0    0      0    0       0
         22    0    1       0        0     0.0    0    0      0    0       0
         23    0    1       0        3.2   1.6    0    0      0    0       0
         24    0    1       0        8.7   6.7    0    0      0    0     4.3
         25    0    1       0        0     0.0    0    0      0    0       0
         26    0    1       0        3.5   2.3    0    0      0    0       0
         27    0    1       0        0     0.0    0    0      0    0       0
         28    0    1       0        0     0.0    0    0      0    0       0
         29    0    1       0        2.4   0.9    0    0      0    0       0
         30    0    1       0       10.6   1.9    0    0      0    0       0];

%                                        Line code
%         Bus bus   R        X       1/2 B   = 1 for lines
%         nl  nr   p.u.     p.u.      p.u.     > 1 or < 1 tr. tap at bus nl
linedata=[1   2   0.0192   0.0575   0.02640    1
          1   3   0.0452   0.1852   0.02040    1
          2   4   0.0570   0.1737   0.01840    1
          3   4   0.0132   0.0379   0.00420    1
          2   5   0.0472   0.1983   0.02090    1
          2   6   0.0581   0.1763   0.01870    1
          4   6   0.0119   0.0414   0.00450    1
          5   7   0.0460   0.1160   0.01020    1
          6   7   0.0267   0.0820   0.00850    1
          6   8   0.0120   0.0420   0.00450    1
          6   9   0        0.2080   0.0     0.978
          6  10   0        0.5560   0       0.969
          9  11   0        0.2080   0          1
          9  10   0        0.1100   0          1
          4  12   0        0.2560   0       0.932
         12  13   0        0.1400   0          1
```

```
12  14   0.1231   0.2559   0          1
12  15   0.0662   0.1304   0          1
12  16   0.0945   0.1987   0          1
14  15   0.2210   0.1997   0          1
16  17   0.0824   0.1923   0          1
15  18   0.1073   0.2185   0          1
18  19   0.0639   0.1292   0          1
19  20   0.0340   0.0680   0          1
10  20   0.0936   0.2090   0          1
10  17   0.0324   0.0845   0          1
10  21   0.0348   0.0749   0          1
10  22   0.0727   0.1499   0          1
21  22   0.0116   0.0236   0          1
15  23   0.1000   0.2020   0          1
22  24   0.1150   0.1790   0          1
23  24   0.1320   0.2700   0          1
24  25   0.1885   0.3292   0          1
25  26   0.2544   0.3800   0          1
25  27   0.1093   0.2087   0          1
28  27   0        0.3960   0      0.968
27  29   0.2198   0.4153   0          1
27  30   0.3202   0.6027   0          1
29  30   0.2399   0.4533   0          1
 8  28   0.0636   0.2000   0.0214     1
 6  28   0.0169   0.0599   0.065      1
] ;
```