

ANALISIS KONTINGENSI SISTEM TENAGA LISTRIK BERBASIS METODE ALIRAN DAYA NEWTON-RAPHSON

Cahya Nanda Priyadi

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

14524031@students.uii.ac.id

Abstrak— Peningkatan mutu keandalan sistem tenaga listrik merupakan hal mutlak yang harus dipertahankan untuk sebuah sistem tenaga listrik. Salah satu caranya adalah dengan membuat berbagai simulasi kejadian kontingensi. Kontingensi sendiri memiliki arti sebagai terlepasnya salah satu atau lebih elemen sistem baik itu saluran transmisi maupun pembangkit yang diakibatkan dari suatu kegagalan pada sistem tenaga listrik. Tujuan dari simulasi kontingensi adalah untuk memprediksi kejadian terburuk pada sistem tenaga listrik apabila terjadi kegagalan sistem pada masa yang akan datang. Pada penelitian ini dilakukan simulasi kontingensi (N-1) yang mana hanya terjadi satu pelepasan saluran transmisi pada sistem uji 30 bus IEEE berbasis metode aliran daya *Newton-Raphson* (NR). Dari hasil simulasi tersebut didapat hasil berupa besar daya aktif dan reaktif saluran antar bus, yang kemudian nilai daya aktif yang didapat digunakan untuk menentukan seberapa tingkat keparahan saluran bus apabila terjadi kontingensi satu (N-1) menggunakan persamaan *Performance Index* (PI). Setelah dilakukan simulasi menggunakan bantuan *software* MATLAB diambil sampel dengan nilai PI terbesar yakni pada saluran 1-2 sebesar 18,3253. Dari hasil perhitungan nilai PI seperti ini maka sistem akan diprediksi mengalami *cascading outage* pada sistem karena terlalu banyak saluran yang mengalami *overload*. Untuk menghindari hal tersebut perlu adanya penambahan kapasitas daya pada saluran yang diprediksi akan mengalami *overload* jika terjadi (N-1) pada saluran 1-2, seperti menambah kapasitas saluran 1-3 dan 3-4 menjadi 350 MW agar aliran daya yang disalurkan melalui saluran tersebut bisa mengalir dengan lancar. Untuk sampel dengan hasil PI yang terkecil terdapat pada saluran 25-26, 12-13, dan 9-11 dengan besar PI masing-masing kurang dari 1. Hal tersebut dikarenakan pada masing-masing saluran hanya berdekatan dengan satu saluran sehingga efek yang ditimbulkan jika terjadi pelepasan pada masing-masing saluran tersebut tidak terlalu berpengaruh ke sistem 30 bus IEEE.

Kata Kunci : *Contingency Analysis, Newton-Raphson Load Flow, Performance Index dan Contingency Ranging*

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan akan energi listrik sekarang ini adalah kebutuhan yang mendasar, terutama bagi kegiatan perindustrian, perkantoran, transportasi serta kegiatan komersil lainnya yang tentunya membutuhkan energi listrik sebagai sumber tenaganya. Untuk memenuhi kebutuhan

tersebut pemerintah dituntut untuk menyediakan energi listrik dalam jumlah yang terus meningkat, hal ini pula yang membuat persoalan baru yakni dalam proses pendistribusian energi listrik yang mendapatkan persoalan seperti dalam sistem jaringan transmisi. Dimana *losses* dan *drop* tegangan merupakan permasalahan membuat kerugian yang cukup berarti, oleh karena itu faktor keandalan pada sistem sangat perlu diperhitungkan untuk mengurangi kerugian yang besar.

Lepasnya unit pembangkit atau saluran transmisi adalah salah hal yang sangat perlu diperhitungkan dalam keandalan sistem tenaga terutama pada sistem pengamanan. Apabila suatu unit pembangkit terlepas dari sebuah sistem maka akan berakibat pada kurangnya pasokan daya untuk melayani beban yang ada. Jika salah satu saluran transmisi terlepas dari sebuah sistem maka akan berakibat pada saluran transmisi yang lain, karena beban yang tersisa akan dialihkan menuju saluran transmisi yang tersisa, yang hal ini membuat saluran transmisi tersebut kelebihan beban (*overload*) disertai dengan pelepasan saluran.

Analisis kontingensi merupakan analisis aliran daya setelah terjadinya gangguan yang menyebabkan terlepasnya salah satu unit pembangkit atau saluran transmisi. Analisis ini digunakan dengan mengacu pada keandalan sistem yang didapat dari studi aliran daya [1]. Dari hal ini dapat dilihat bahwa sangat penting untuk sistem dirancang dan dioperasikan agar dalam keadaan kontingensi atau lepasnya salah satu elemen sistem baik itu unit pembangkit atau saluran transmisi tidak akan menyebabkan pemadaman pada sebagian besar atau seluruh sistem (*blackout*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pada perubahan daya aktif dan reaktif yang terjadi jika salah satu unit pembangkit atau saluran transmisi (N-1) terlepas dari sistem 30 bus IEEE dan mengidentifikasi pada saluran mana saja yang mengalami *overload* menggunakan persamaan *performance index*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibuat sebelumnya, dapat dirumuskan permasalahan yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana menyusun ranking kontingensi N-1 berdasarkan *performance index* menggunakan metode aliran daya NR pada sistem IEEE 30 bus ?

2. Bagaimana cara untuk mengetahui saluran yang mengalami pembebanan berlebih untuk ranking kontingensi tertinggi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam skripsi ini yaitu sebagai berikut

1. Menyusun ranking kontingensi N-1 berdasarkan *performance index* berbasis metode aliran daya *newton-raphson* pada sistem IEEE 30 bus.
2. Mengetahui saluran yang mengalami pembebanan berlebih untuk ranking kontingensi tertinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai upaya untuk mengoptimalkan sistem keandalan serta sebagai acuan dalam perencanaan dan pengoprasian sistem tenaga listrik.

I. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian dibidang analisis kontingensi yang menggunakan metode perangkian sudah banyak dilakukan penelitian dengan menggunakan banyak metode penyelesaian, seperti yang dilakukan oleh N. Nayak dan A. Wardani dengan judul "*Load Flow Analysis Using Improved Newton-Raphson Method*" [1]. Pada penelitian ini penulis banyak menjelaskan tentang metode solusi aliran-beban yang sederhana, andal dan cepat dengan berbagai aplikasi praktis. Ini menarik untuk perhitungan akurat atau perkiraan off-dan on-line untuk keperluan rutin dan kontinjensi. Ini berlaku untuk jaringan dengan berbagai ukuran dan dapat dijalankan secara efektif di komputer. Metode ini merupakan pengembangan prinsip aliran beban konvensional dan bentuk algoritma untuk membawa perbaikan pada teknik konvensional. Penelitian yang telah dilakukan ini menyajikan studi komparatif dari metode aliran beban matriks konstan Jacobian baru yang dibangun berdasarkan beberapa metode aliran beban NR konvensional. Asumsi dibuat sehingga membuat matriks konstan, sehingga menghilangkan kebutuhan menghitung matriks dalam setiap iterasi. Metode yang diusulkan menunjukkan kecepatan komputasi yang lebih baik.

Penelitian dengan tema yang sama juga telah dilakukan oleh Yilang Chen dan Anjan Bose dengan judul "*Direct Ranking For Voltage Contingency Selection*" [2]. Pada penelitian ini penulis banyak menjelaskan tentang penyusunan ranking kontingensi berdasarkan tingkat keparahannya. Saat ini sudah umum diterima bahwa untuk penilaian keamanan sistem tenaga listrik, strategi yang paling efisien dan praktis

adalah menangani masalah dalam dua tahap. Pertama dalam pemilihan kontingensi, kasus-kasus kontingensi yang berpotensi penting tersebut digolongkan berdasarkan tingkat keparahan dampaknya terhadap suatu sistem. Kemudian dalam analisis kontingensi, aliran daya AC yang terperinci hanya diterapkan pada kasus-kasus paling berbahaya yang muncul di atas daftar peringkat. Dalam dekade terakhir, masalah peringkat kasus pemadaman di urutan penurunan keparahan telah menarik banyak studi intensif, dan banyak algoritma yang efisien dapat diandalkan dan dikembangkan. Tetapi sebagian besar teknik ini hanya dapat diterapkan untuk masalah keamanan batas MW. Di sisi lain, masalah tegangan juga ditemukan menjadi aspek yang sangat penting dalam penilaian keamanan. Ini telah menjadi target banyak proyek penelitian, Karena masalah tegangan MV melibatkan model yang jauh lebih rumit daripada masalah MW-angle, hambatan signifikan dialami dalam mengembangkan algoritma peringkat untuk pemantauan keamanan tegangan, menjadikannya area di mana studi lebih lanjut masih diperlukan.

Kemudian penelitian yang sama telah dilakukan oleh Pudi Sekhar dengan judul "*Power System Contingency Ranking Using Newton-Raphson Load flow Method*" [3]. Dalam jurnal ini penulis banyak menjelaskan tentang kontingensi menggunakan metode aliran daya. Untuk menunjang kebutuhan akan energi listrik yang semakin besar sistem tenaga harus didukung oleh sistem keamanan yang sangat ketat. Hal ini perlu dilakukan karena kesetabilan sistem merupakan hal mutlak yang harus dijaga pada sebuah sistem tenaga listrik. Pada penelitian ini penulis melakukan percobaan kontingensi pada sistem 5 bus IEEE dengan menggunakan metode aliran daya NR yang diterapkan pada software MATLAB untuk menyelesaikan permasalahan komputasi yang cukup rumit. Perangkian yang dibuat berdasarkan pada tingkat keparahan suatu saluran bus berdasarkan indeks performansi pada saat terjadi kontingensi. Metode ini sangat cocok digunakan dalam penelitian yang akan dilakukan karena mampu mengatasi permasalahan kontingensi dengan melakukan proses komputasi yang cepat dan handal guna memprediksi kejadian kontingensi yang terjadi selanjutnya. Adapun yang membedakan dari penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan penulis ialah pada hasil akhir penulis menggunakan dua hasil keluaran berupa besar daya saluran dan nilai tegangan saluran sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan hanya memiliki satu hasil keluaran berupa nilai daya aktif yang akan dipergunakan dalam penentuan nilai PI permasing-masing saluran.

2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Analisis Kontingensi

Kontingensi merupakan suatu kejadian kegagalan pada suatu sistem tenaga yang diakibatkan oleh lepasnya salah satu atau lebih elemen sistem baik itu unit pembangkit atau saluran transmisi, istilah ini sangat berkaitan dengan kemampuan

sistem tenaga dalam melayani beban yang ada jika terjadi gangguan tiba-tiba pada salah satu elemennya [4]. Untuk alasan kontingensi lah, lebih dari satu saluran digunakan untuk menyalurkan daya listrik ke beban, meski seluruh elemen sistem berada pada kondisi normal.

Analisis kontingensi adalah hal yang sangat perlu diperhitungkan pada suatu sistem tenaga listrik dikarenakan fungsinya sebagai penguji sistem keamanan dan sebagai tindak lanjut dari program *load flow* yang berguna untuk memperhitungkan berbagai kondisi yang akan terjadi di masa mendatang dengan melakukan banyak kontingensi [5]. Analisa terhadap kontingensi yang mungkin terjadi sangat perlu dilakukan karena untuk menentukan langkah-langkah pengoprasian sistem yaitu guna mengatasi terjadinya kasus-kasus yang akan dihasilkan dari kontingensi tersebut.

2.2.2 Load Flow

Sistem transmisi tenaga listrik merupakan salah satu bagian terpenting dalam proses penyaluran energi listrik. Dalam proses penyaluran tenaga listrik tersebut *losses* daya merupakan masalah yang tidak dapat dihilangkan dari sistem ketenaga listrik, oleh karenanya sebuah sistem tenaga listrik harus mampu meminimalisir hal tersebut untuk mengurangi kerugian biaya operasi pembangkitan. Studi aliran daya merupakan studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi tunak. Informasi yang didapat sangat diperlukan dalam mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan [5].

Masalah aliran daya meliputi perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal tertentu atau bus tertentu. Representasi fasa tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang. Dalam studi aliran daya bus-bus di bagi menjadi 3 macam, yaitu :

1. *Slack* bus atau bus referensi
2. *Voltage controlled* bus atau bus generator
3. *Load* bus atau bus beban

Untuk menghitung aliran daya menggunakan metode *newton-raphson* perlu terlebih dahulu memahami studi aliran daya. Perhitungan dimulai dengan membentuk impedansi jaringan (Z_{ij}) dengan rumus [1] :

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \quad (2.1)$$

Dimana :

- Z_{ij} = Impedansi jaringan antara bus I dan bus j
- R_{ij} = Resistansi jaringan antara bus I dan bus J
- X_{ij} = Reaktansi jaringan antara bus I dan bus

2.2.3 Performance Index

Berikut adalah persamaan yang akan dipakai untuk mengetahui seberapa parah pengaruh suatu saluran untuk sistem tenaga listrik [6]:

$$PI = \sum_{\text{semua saluran } i} \left(\frac{P_{flow\ i}}{P_{max\ i}} \right)^{2n} \quad (2.2)$$

DIMANA:

PI = Performance Index

$P_{flow\ i}$ = Besar daya yang mengalir pada saluran (MW)

$P_{max\ i}$ = Kapasitas maximum yang dapat ditampung saluran (MW)

n = Konstanta bernilai 1

Jika nilai PI lebih besar dari 1 maka nilai dapat dikatakan *overload* dan apabila nilai PI kurang dari 1 maka dapat dikatakan saluran dalam keadaan baik, apabila nilai PI semakin besar, maka sistem berada dalam keadaan buruk [1].

2.2.4 Metode Aliran Daya Newton-Raphson

Metode aliran daya *Newton-Raphson* merupakan salah satu cara yang dapat dipergunakan untuk menyelesaikan masalah kontingensi. Metode ini dikembangkan dari Deret *Taylor*, yang berguna untuk menghitung suatu fungsi dengan dua variable atau lebih. Metode aliran daya *Newton-Raphson* dapat menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan pada setiap busnya dengan menggunakan suatu set persamaan non linier. Metode ini sangat cocok digunakan dalam permasalahan aliran daya khususnya untuk sistem tenaga yang cukup besar karena untuk mencapai nilai konvergensi ditempuh dalam waktu yang cukup singkat jika dibandingkan dengan metode aliran daya lainnya. Berikut adalah tahapan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan masalah aliran daya dengan metode aliran daya *Newton-Raphson* [3] :

Tabel 2.1 menunjukkan jenis-jenis bus yang akan digunakan dalam penelitian

1. Menentukan jenis bus :

TABEL ERROR! NO TEXT OF SPECIFIED STYLE IN DOCUMENT..1 JENIS-JENIS BUS YANG AKAN DIGUNAKAN DALAM PENELITIAN

Jenis bus	Parameter yang tidak diketahui	Parameter yang diketahui
Slack	P dan Q	V and δ
Generator	Q dan δ	P and $ V $
Load	$ V $ and δ	P and Q

2. Menyusun formasi matriks admitansi bus

$$Y = \begin{pmatrix} Y_{11} & & Y_{ji} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{ij} & & Y_{jj} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Dimensi matriks admitansi ditentukan berdasarkan jumlah bus dalam jaringan sistem tenaga listrik. sebagai contoh, sistem bus akan membentuk matriks ($n \times n$).

3. Memisakan bagian nyata dan imajiner

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.4)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.5)$$

Dimana :

P_i = Daya aktif yang terhitung di bus

Q_i = Daya reaktif yang terhitung di bus

V_i, θ_i = Magnitudo tegangan dan sudut fasa pada bus
 V_j, θ_j = Magnitudo tegangan dan sudut fasa pada bus j
 Y_{ij}, θ_{ij} = Magnitudo tegangan dan sudut fasa pada pada elemen matriks [Y]

4. Mengidentifikasi *power mismatch*

$$\Delta P = P^{spec} - P^{calc}$$

(ERROR! NO TEXT OF SPECIFIED STYLE IN DOCUMENT..6)

$$\Delta Q = Q^{spec} - Q^{calc} \quad (\text{ERROR! NO TEXT OF SPECIFIED STYLE IN DOCUMENT..7})$$

Dimana :

ΔP = Perubahan daya aktif bus
 ΔQ = Perubahan daya reaktif bus
 P^{spec} = Daya aktif awal sebelum iterasi pada bus
 P^{calc} = Daya aktif setelah iterasi pada bus
 Q^{spec} = Daya reaktif awal sebelum iterasi pada bus
 Q^{calc} = Daya reaktif seteahl iterasi pada bus

Pembentukan matriks Jacobian dalam bentuk sederhana, metode aliran daya NR bisa diwakili oleh rumus matriks seperti pada persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

(ERROR! NO TEXT OF SPECIFIED STYLE IN DOCUMENT..8)

Dimana :

$\Delta \delta$ = Perubahan sudut fasa
 $\Delta |V|$ = Perubahan magnitudo tegangan
 J1 = diagonal 1
 J2 = diagonal 2
 J3 = diagonal 3
 J4 = diagonal 4

Unsur-unsur matriks Jacobian bersifat parsial nilai turunan dari P dan Q sehubungan dengan $|V|$ atau δ . Dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (\text{ERROR! NO TEXT OF SPECIFIED STYLE IN DOCUMENT..9})$$

Elemen-elemen off-diagonal dari J1 adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (2.10)$$

Elemen dari diagonal dari J1 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.11)$$

Elemen off-diagonal dari J2 adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |V_i Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (2.12)$$

Elemen dari diagonal dari J2 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i Y_{ij}| \cos(\theta_{ij}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.13)$$

Elemen off-diagonal dari J3 adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (2.14)$$

Elemen dari diagonal dari J3 adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.15)$$

Elemen off-diagonal dari J4 adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = -|V_i Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (2.16)$$

Elemen dari diagonal dari J4 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i Y_{ij}| \sin(\theta_{ij}) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.17)$$

5. Pengestimasi baru untuk perhitungan tegangan bus yang kompleks

Perhitungan iterasi dimulai dari memberikan perkiraan besar nilai magnitudo dan sudut fasa tegangan awal. Kemudian perubahan-perubahan yang terjadi pada daya nyata dan reaktif yang telah dijadwalkan dikurangi dengan besar daya nyata dan reaktif yang dihitung dari persamaan (2.13) sampai (2.20)

$$\Delta P_i^k = P_{i(terjadwal)} - P_i^k \quad (2.18)$$

$$\Delta Q_i^k = Q_{i(terjadwal)} - Q_i^k \quad (2.19)$$

Elemen-elemen matriks Jacobian dihitung menggunakan nilai dari magnitudo tegangan dan sudut fasa awal. Dengan menggunakan metode invers langsung maka permasalahan mencari persamaan linier dapat terselesaikan sehingga didapat nilai estimasi baru untuk magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan.

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j1 & j2 \\ j3 & j4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Proses iterasi kembali lagi ke proses awal dan proses ini terus dilakukan sampai ΔP_i^k dan ΔQ_i^k untuk semua bus (kecuali *slack bus*) memenuhi harga toleransi yang diberikan yakni sebesar 0,0001.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.21)$$

$$|V^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.22)$$

Dimana :

$\Delta\delta_i^{(k)}$ = perubahan sudut fasa tegangan bus i

$\Delta|V_i^{(k)}|$ = perubahan magnitude tegangan bus

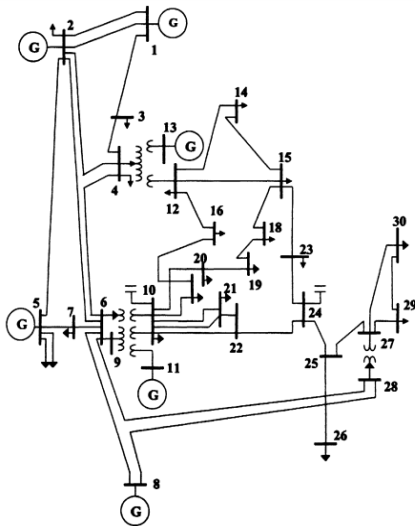
Jadi iterasi akan berhenti jika nilai dari :

$$\Delta\delta_i^{(k)} \leq 0,0001$$

$$\Delta|V_i^{(k)}| \leq 0,0001$$

2.2.5 File Transfer Protocol

Sistem single area 30 bus merupakan salah satu sistem yang sangat mudah untuk digunakan dalam studi aliran daya serta sebagai studi operasi sistem daya, hal ini telah dibuktikan oleh uji tes dari IEEE . Gambar 2.1 menunjukkan diagram satu garis sistem 30 bus IEEE



GAMBAR ERROR! NO TEXT OF SPECIFIED STYLE IN DOCUMENT..1
DIAGRAM SATU GARIS SISTEM 30 BUS IEEE

Untuk data lengkap dan parameter yang terdapat pada sistem aliran daya 30 bus IEEE dapat dilihat pada lembar lampiran.

II. METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Desain penelitian adalah tahapan atau gambaran yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian, untuk memudahkan peneliti dalam melakukan penelitian, diperlukan desain penelitian. Langkah awal penelitian yaitu mencari literatur yang digunakan untuk membandingkan tiap metode dalam menyelesaikan permasalahan kontingensi suatu sistem tenaga listrik. Setelah selesai membandingkan tiap metode maka peneliti akan dapat memilih metode mana yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian.

Setelah mengumpulkan beberapa literatur sebagai pembanding dalam pemilihan metode maka langkah selanjutnya adalah mempersiapkan semua data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan kontingensi

dan *software* (perangkat lunak) yang akan digunakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan komputasi serta *hardware* (perangkat keras) yang mampu menjalankan *software* yang akan digunakan tersebut.

Untuk menyelesaikan permasalahan kontingensi peneliti akan membuat suatu koding dengan menggunakan MATLAB. Dalam permasalahan kontingensi dibutuhkan data-data antar saluran yaitu nilai resistansi, reaktansi, dan susptansi serta data-data bus berupa besaran magnitude, sudut fasa, dan besar daya aktif dan reaktif di generator serta dibeban.

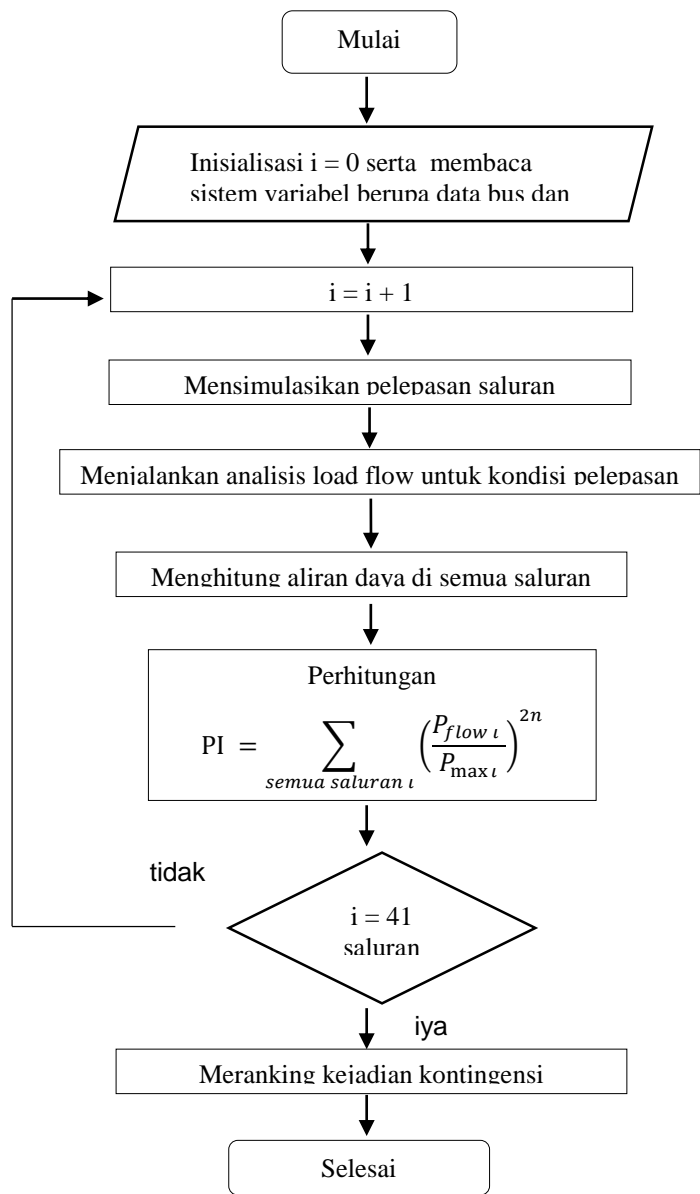
Tahap selanjutnya adalah memasukan data saluran ke koding inti *Newton-Raphson* pada MATLAB kemudian disimulasikan. Dimana *newton-raphson* akan mengkalkulasi daya aktif dan reaktif yang mengalir pada setiap saluran bus.

Setelah koding berhasil disimulasi maka akan didapatkan hasil dari komputasi MATLAB yang berupa daya aktif dan reaktif dalam satuan MW antar saluran bus yang akan digunakan dalam menghitung indeks performansi untuk mengetahui tingkat pembebanan pada masing-masing saluran bus sebagai berikut:

1. P_i merupakan data keluaran daya aktif dari masing-masing saluran.
2. Q_i merupakan data keluaran daya reaktif dari masing-masing saluran.

Tahapan setelah dilakukannya simulasi adalah tahap analisa. Analisa dilakukan untuk hasil komputasi, apakah komputasi yang dihasilkan tersebut telah sesuai dengan apa yang diharapkan untuk mendapatkan hasil yang paling akurat agar dalam proses pengurutan berdasarkan tingkat pembebanan saluran tidak tertukar.

Tahap terakhir dari penelitian ini yaitu membuat kesimpulan dan saran, dimana kesimpulan berisikan hal-hal yang dianggap penting didalam proses pembuatan koding, dan saran yang berisi masukan guna kesempurnaan dari penelitian ini. Gambar 3.1 dibawah menunjukkan alur dari diagram alir penelitian:



GAMBAR ERROR! NO TEXT OF SPECIFIED STYLE IN DOCUMENT..2
DIAGRAM ALIR PENELITIAN

3.2 Perancangan Sistem Simulasi

Penyelesaian masalah kontingensi melalui simulasi menggunakan *software* MATLAB ini menggunakan metode aliran daya *Newton-Raphson*. Cara kerja dari metode aliran daya *Newton-Raphson* dalam menyelesaikan masalah kontingensi terdiri dari beberapa tahapan yakni sebagai berikut:

1. Baca data bus dan data saluran
2. Membentuk sebuah matriks Y-bus
3. Hitung daya aktif dan reaktif serta kekuatan residual
4. Hitung matriks Jacobian J
5. Hitung besar nilai tegangan baru dan sudut fasa

6. Proses ini dilanjutkan hingga sisa daya mendekati akurasi yang telah ditentukan

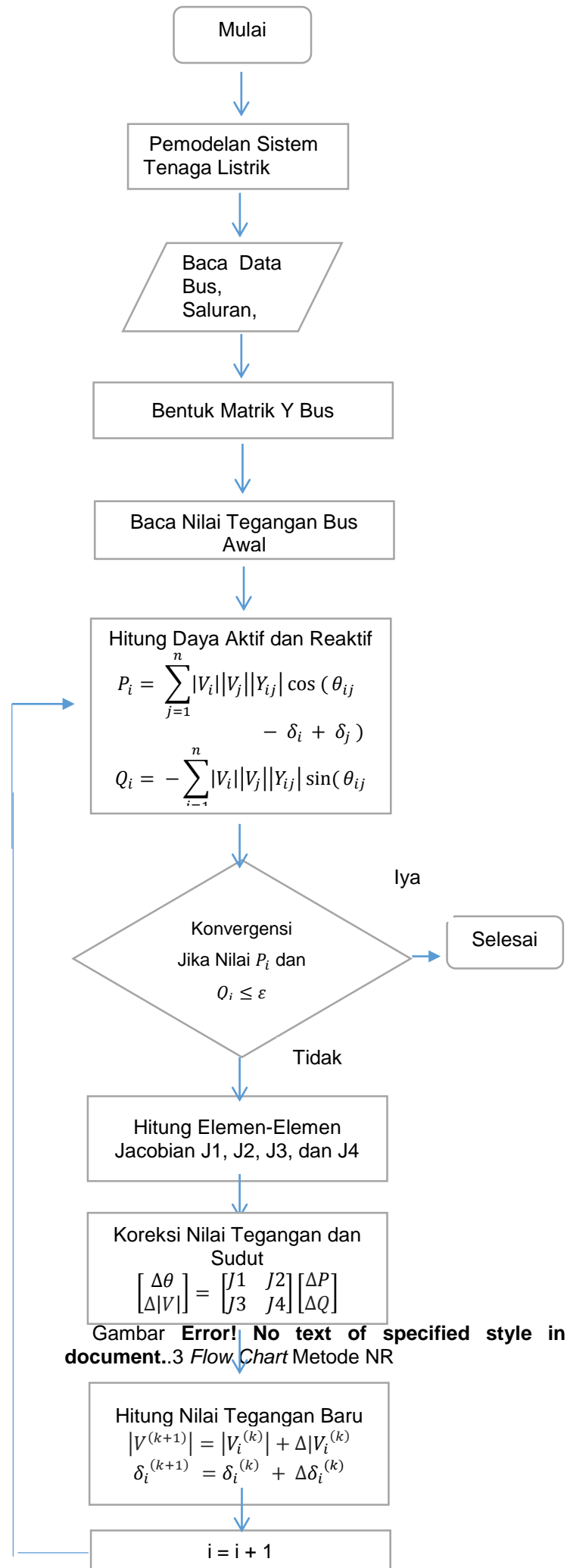
Langkah pertama dalam pemecahan masalah kontingensi menggunakan metode *Newton-Raphson* terdapat beberapa parameter penting yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, parameter tersebut adalah nilai matriks Y-bus, Matriks Jacobian J, dan nilai tegangan baru setelah proses perhitungan awal serta sudut fasa. Parameter-parameter tersebut berfungsi sebagai data penting untuk daya keluaran saluran yang berupa daya aktif dan reaktif. Untuk menentukan besar daya aktif pada saluran dapat menggunakan persamaan (2.6) serta untuk besar daya reaktif saluran menggunakan persamaan (2.7). Selanjutnya setelah menemukan besar daya aktif dan reaktif saluran tahap selanjutnya adalah menentukan ranking dari setiap saluran bus menggunakan PI (*Performance index*) berdasarkan tingkat pembebanan terburuk dengan persamaan (2.4)

3.2.1 Implementasi Metode

Simulasi penyelesaian masalah kontingensi akan diselesaikan menggunakan *software* MATLAB dan di implementasikan pada sistem IEEE 30 bus. Dengan metode aliran daya *Newton-Raphson* masalah kontingensi dapat diselesaikan dalam waktu yang singkat serta memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Cara kerja dari metode *Newton-Raphson* dalam menyelesaikan masalah kontingensi yang pertama adalah deklarasi data bus dan saluran bus selanjutnya masuk ketahap komputasi untuk menemukan nilai dari matriks Y-bus kemudian diteruskan keproses perhitungan daya aktif dan reaktif saluran selanjutnya masuk ketahap pencarian nilai dari matriks Jacobian J setelah nilai matriks Jacobian berhasil ditemukan kemudian masuk ketahap perhitungan untuk nilai tegangan baru serta nilai sudut fasa, tahapan terakhir dari metode ini adalah pengulangan iterasi hingga nilai yang tersisa mendekati nilai akurasi yang telah ditentukan. Pada penelitian ini iterasi yang dilakukan sebanyak 7 kali karena hasil keluaran dari iterasi tersebut sudah mendekati dari nilai toleransi yang telah ditentukan.

Setelah proses komputasi dari matlab selesai selanjutnya masuk ketahap perankingan kontingensi yang mana pada tahap ini saluran antar bus diurutkan berdasarkan tingkat pembebanan terbesar hingga terkecil dengan menggunakan persamaan PI. Hasil dari tahapan ini dapat digunakan untuk memprediksi kejadian kontingensi yang akan terjadi selanjutnya dan untuk mengevaluasi serta memperbaiki keandalan pada sebuah sistem tenaga listrik.

Gambar 3.3 menunjukkan *flow chart* dari sistem kerja dari simulasi MATLAB yang akan dijalankan untuk menyelesaikan masalah kontingensi dengan metode aliran daya *Newton-Raphson*:



III. HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil Simulasi Perhitungan Nilai PI dan Perangkingan

Dari hasil perancangan metodologi pada Bab 3 dan telah di implementasikan pada saluran 30 bus IEEE (data terdapat pada lampiran) yang didalam berisikan data bus, data saluran, data beban disetiap bus, data daya pembangkitan generator pada tiap bus, data resistansi, data reaktansi, data suseptansi dan data tap setting

Untuk mencapai nilai output daya dengan akurasi yang tinggi diperlukan beberapa parameter nilai yang digunakan pada NR yang telah disebutkan pada Bab 3. berikut adalah nilai parameter yang digunakan untuk penyelesaian masalah kontingensi pada metode NR :

1. Iterasi : 7
2. Base MVA : 100
3. Nilai Toleransi : 0,0001

Jika nilai-nilai dari parameter yang telah ditentukan tersebut berhasil dicapai maka hasil keluaran dari proses komputasi menggunakan *software* MATLAB akan menjadi lebih maksimal. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mendapatkan nilai daya aktif saluran dengan tingkat akurasi tinggi untuk proses perangkingan berdasarkan tingkat pembebanan terbesar hingga pembebanan terkecil menggunakan PI yang diterapkan pada sistem 30 bus IEEE. Pada simulasi ini nilai PI telah dihitung dan telah diurutkan dari tingkat pembebanan terbesar hingga terkecil menggunakan bantuan *software* MATLAB. Tabel 4.1 menunjukkan hasil keluaran nilai PI pada saat kejadian kontingensi 1 (N-1).

TABEL Error! No text of specified style in document..2 DATA HASIL KELUARAN NILAI PI DARI KEJADIAN N-1

NO	Saluran Bus Terlepas		Nilai PI
	Dari bus	Ke bus	
1	1	2	18,3253
2	4	12	16,0249
3	2	5	15,7374
4	28	27	13,9136
5	1	3	13,0449

Tabel 4.1 (Lanjutan)

NO	Dari bus	Ke bus	Nilai PI
6	3	4	12,8665
7	4	6	12,2523
8	6	8	11,3838
9	9	10	11,1020

10	6	9	10,9962
11	10	20	10,8443
12	6	28	10,6562
13	2	6	10,4854
14	12	15	10,4186
15	19	20	10,2766
16	27	30	10,2091
17	10	21	9,9027
18	6	10	9,8440
19	15	23	9,8307
20	12	16	9,8087
21	12	14	9,7581
22	27	29	9,7424
23	25	27	9,6438
24	22	24	9,6417
25	10	22	9,5883
26	10	17	9,5789
27	15	18	9,5405
28	16	17	9,4387
29	29	30	9,4655
30	23	24	9,4475
31	21	22	9,3974
32	14	15	9,3799
33	5	7	9,3762
34	24	25	9,3722
35	8	28	9,3716
36	18	19	9,3275
37	2	4	9,2286

Tabel 4.1 (Lanjutan)

NO	Dari bus	Ke bus	Nilai PI
38	6	7	8,8841
39	9	11	0,000017
40	12	13	0,000016
41	25	26	0,000014

Tabel 4.1 menunjukkan hasil akhir dari simulasi PI yang berupa urutan ranking kejadian kontingensi berdasarkan tingkat pembebanan terparah. Urutan pertama diduduki oleh saluran 1-2 dengan nilai PI sebesar 18,3253 hal ini bisa terjadi karena saluran 1-2 merupakan saluran dengan alokasi daya ke sistem paling besar di antara saluran lainnya, karena pada masing-masing bus 1 dan bus 2 terdapat pembangkit dengan hasil pembangkitan daya terbesar pada sistem 30 bus IEEE. hal ini pula yang menyebabkan saluran disekitarnya menanggung imbas yang cukup parah apabila saluran 1-2 sampai terlepas dari sistem, hal ini telah dibuktikan melalui perhitungan menggunakan bantuan software MATLAB untuk mengetahui besar nilai PI pada saluran tersebut. Sedangkan pada urutan no 2 diduduki oleh saluran 4-12 dengan total nilai PI sebesar 16,0249. Dengan nilai PI sebesar itu maka dampak yang akan ditimbulkan oleh pelepasan saluran tersebut akan sangat berpengaruh pada sistem kerja saluran lainnya. Pada saluran 4-12 sendiri merupakan saluran yang saling terinterkoneksi

melalui sebuah transformator, yang mana daya yang mengalir pada saluran tersebut cukup besar karena akan diteruskan ke saluran terdekat lainnya. Pada urutan no 3 di isi oleh saluran 2-5 dengan total nilai PI sebesar 15,7374 hal ini bisa terjadi karena pada saluran 2-5 merupakan saluran yang meneruskan secara langsung aliran daya dari saluran 1-2 menuju ke berbagai saluran lainnya. Terlebih lagi saluran 2-5 merupakan saluran yang memiliki masing-masing pembangkit di setiap busnya, oleh karenanya aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut cukup besar yang dapat menyebabkan pemadaman bertingkat atau cascading apabila sampai terjadi gangguan yang tidak diinginkan. Selanjutnya pada urutan no 4 berada pada saluran 28-27 dengan total nilai PI sebesar 13,9136. Untuk saluran 28-27 sendiri merupakan saluran yang saling terinterkoneksi melalui sebuah transformator yang mana berfungsi sebagai penghubung dari beberapa saluran bus, seperti bus no 8 dan 9 saling terhubung ke bus no 28 untuk bus no 27 sendiri saling terhubung ke saluran 25, 30, dan 29 yang kemudian dipertemukan oleh bus no 28 melalui sebuah transformator, oleh sebab itu pada saluran 28-27 memiliki nilai PI cukup besar yang patut di perhitungkan apabila terjadi gangguan sewaktu-waktu pada saluran tersebut karena memiliki efek yang cukup buruk pada sistem.

Pada urutan ranking 23 sendiri di duduki oleh saluran 25-27 dengan total nilai PI sebesar 9,6438. Pada saluran 25-27 merupakan saluran dengan nilai PI yang tidak begitu berpengaruh ke sistem karena hanya menanggung beban dari beberapa saluran bus dengan kapasitas rating saluran yang terbilang kecil jika dibandingkan dengan saluran lainnya. Jika dilakukan pemadaman pada saluran tersebut efek yang akan ditimbulkan hanya berada pada lingkup saluran bus no 27, 29 dan 30. Untuk urutan no terakhir sendiri diduduki oleh saluran 25-26, 9-11, dan saluran 12-13 dengan nilai PI masing-masing sebesar 0,000017, 0,000016 dan 0,000014 yang berarti bahwa pada 3 saluran tersebut tidak akan mempengaruhi kinerja sistem tenaga listrik apabila terjadi pemutusan pada salah saluran tersebut. Hal ini dikarenakan pada ketiga saluran tersebut tidak terhubung kesaluran manapun pada sistem 30 bus IEEE, sehingga efek yang ditimbulkan ke sistem sangat lah minim.

4.2 Hasil Simulasi Dari Pelepasan Saluran 1-2

Dari hasil simulasi kontingensi satu (N-1) pada saluran 1-2 diketahui bahwa pada saluran 1-2 memiliki efek keparahan tertinggi pada sistem 30 bus IEEE jika dibandingkan dengan saluran lainnya. Hal ini telah dibuktikan melalui sebuah simulasi menggunakan software MATLAB untuk membantu proses komputasi. Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari pembebanan terparah pada saat terjadi (N-1) di saluran 1-2.

TABEL ERROR! NO TEXT OF SPECIFIED STYLE IN DOCUMENT...3 HASIL PEMBEBANAN TERPARAH PADA SAAT PELEPASAN SALURAN 1-2

NO	Saluran Bus		Kapasi- tas saluran (MW)	Daya Aktif Saluran (MW)	Nilai PI	Keterangan
	Dari bus	Ke bus				
1	1	3	130	304,67 9	2,343	Tidak Aman
2	3	4	130	263,43 9	2,026	Tidak Aman
3	4	6	90	155,37 9	1,726	Tidak Aman
4	6	8	32	29,538	0,923	Aman
5	4	12	65	51,407	0,790	Aman

Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari pembebanan terparah saat kejadian (N-1) pada saluran 1-2. Urutan pertama saluran terparah berada pada saluran 1-3 dengan aliran daya aktif sebesar 304.679 MW dan nilai PI sebesar 5.4929 dengan kapasitas maksimum saluran sebesar 130 MW. Hal ini membuktikan bahwa pada saluran 1-3 mengalami *overload* parah karena daya yang disalurkan melebihi batas maksimum dari saluran itu sendiri. Jika hal ini tidak segera diantisipasi dengan baik maka efek yang ditimbulkan ke sistem akan sangat berbahaya. Solusi yang perlu dilakukan untuk mengatasi persoalan tersebut adalah dengan menambah kapasitas daya saluran dari yang tadinya 130 MW menjadi 350 MW agar tidak terjadi *overload* pada saluran tersebut. Urutan kedua berada pada saluran 3-4 dengan aliran daya aktif sebesar 263.439 MW dan nilai PI sebesar 4.1065 dengan kapasitas maksimum saluran sebesar 130 MW. Dari data tersebut dapat dipastikan saluran 3-4 mengalami *overload* parah karena daya yang disalurkan melebihi kapasitas daya yang mampu ditampung saluran itu sendiri, sehingga berakibat pada pemadaman pada saluran tersebut. Hal ini bisa diantisipasi dengan melakukan penambahan kapasitas saluran menjadi 300 MW agar aliran daya dapat mengalir dengan lancar. Untuk urutan ketiga berada pada saluran 4-6 dengan aliran daya aktif sebesar 155.379 MW dan nilai PI sebesar 2.9806 dengan kapasitas maksimum saluran sebesar 90 MW. Hal ini membuktikan bahwa saluran 4-6 mengalami *overload* parah karena aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut melebihi kapasitas maksimum saluran itu sendiri, sehingga efek yang terjadi adalah terjadi pelepasan saluran di saluran tersebut. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan penambahan kapasitas saluran menjadi 160 MW agar saluran dapat bekerja dengan normal. Pada urutan 4 dan 5 saluran masih berada pada kondisi normal, dimana aliran daya aktif pada masing-masing saluran tersebut masih berada dibawah batas maksimum saluran, yakni sebesar 29.538 MW dan 51.407 MW dengan kapasitas maksimum saluran sebesar 32 MW dan 65 MW.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi NR dari *software* MATLAB dan perhitungan nilai PI untuk menyelesaikan permasalahan kontingensi pada sistem IEEE 30 Bus, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. nilai PI sangat berpengaruh pada kondisi kerja saluran bus terlebih jika terjadi gangguan pada sistem hal ini telah dibuktikan melalui perhitungan menggunakan aplikasi MATLAB dengan sampel sebagai berikut : pada saat kejadian kontingensi 1 di saluran 1-2 hasil keluaran nilai PI sebesar 18,3253 untuk nilai PI sebesar ini dampak yang ditimbulkan pada sistem sangat lah besar terlebih karena bus 1 merupakan *slack bus* yang bertugas sebagai pemasok daya terbesar pada sistem, apabila hal seperti ini sampai terjadi maka kemungkinan terburuk bisa terjadi pada sistem seperti halnya pemadaman total pada sistem 30 bus IEEE. Hal ini lah yang perlu diperhitungkan seorang teknisi sebelum melakukan suatu tindakan pemadaman pada suatu sistem tenaga listrik. Untuk sampel dengan hasil PI yang terkecil terdapat pada saluran 25-26, 12-13, dan 9-11 dengan besar PI masing-masing dibawah 1. Hal tersebut dikarenakan pada masing-masing saluran hanya menanggung satu saluran sehingga efek yang ditimbulkan jika terjadi pelepasan pada masing-masing saluran tersebut tidak terlalu berpengaruh ke sistem 30 bus IEEE.
2. Pada saat pelepasan saluran 1-2 terdapat saluran-saluran bus yang mengalami *Overload* parah, seperti pada saluran 1-3 dengan nilai PI sebesar 2,343. Dari hasil nilai PI sebesar ini maka dapat dipastikan saluran 1-3 mengalami *overload* lebih dari 2 kali lipat dari batas maksimum yang mampu ditampung saluran tersebut, oleh karenanya penambahan kapasitas saluran perlu dilakukan agar saluran tersebut tidak mengalami *overload* pada saat terjadi pelepasan saluran 1-2. Kemudian pada saluran 3-4 dan 4-6 juga mengalami *overload* dengan nilai PI masing-masing sebesar 2,026 dan 1,726. Untuk mengatasi masalah ini maka perlu adanya penambahan kapasitas saluran di masing-masing saluran tersebut. Sedangkan untuk saluran 6-8 dan 4-12 tidak mengalami *overload* akan tetapi untuk menghindari kejadian terburuk perlu adanya sedikit penambahan kapasitas saluran pada masing-masing saluran tersebut karena melihat nilai PI pada masing-masing saluran tersebut nyaris mendekati *overload* yakni sebesar 0,923 dan 0,790.

5.2 Saran

Dalam upaya peningkatkan mutu keandalan saluran transmisi tenaga listrik, disarankan dalam penelitian selanjutnya diharapkan untuk :

1. Untuk menghindari terjadinya *cascading outage* atau *blackout* pada sistem 30 bus IEEE saat terjadi kontingensi

pada saluran 1-2 maka perlu adanya penambahan kapasitas daya pada saluran yang akan diprediksi akan mengalami overload jika terjadi (N-1) pada saluran 1-2, seperti melakukan penambahan kapasitas daya pada saluran 1-3 dan 3-4 karena terkena imbas langsung dari kejadian (N-1) pada saluran 1-2. Jika hal ini telah dilakukan maka kemungkinan akan terjadinya cascading atau blackout pada sistem 30 bus IEEE dapat dihindari.

2. Perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengevaluasi sistem tenaga listrik secara menyeluruh dengan menyertakan semua probabilitas kontingensi yang terjadi baik itu kontingensi (N-1), (N-2), dan kontingensi pada bus.
3. Dalam perancangan simulasi harus memperhatikan aspek stabilitas dan respon sistem apabila terjadi kontingensi. Jika seluruh aspek telah terpenuhi dengan baik maka akan diperoleh informasi yang lengkap dan menyeluruh yang dapat dipergunakan dalam pengembangan dan perbaikan keandalan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Nayak and A. K. Wadhvani, "Load Flow Analysis Using Newton-Raphson Method," *Trans Tech Publ. 2015*, vol. 793, pp. 494–499, 2015.
- [2] Y. Chen and A. Bose, "Direct ranking for voltage contingency selection," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 4, no. 4, pp. 1335–1344, 1989.
- [3] P. Sekhar and S. Mohanty, "Power system contingency ranking using Newton Raphson load flow method," *2013 Annu. IEEE India Conf. INDICON 2013*, pp. 1–4, 2013.
- [4] H. Mohamad, Z. Zakaria, and M. Z. Bin Mazlan, "Development of GUI Power System Load Flow Analysis tool based on Newton Raphson method," *2015 IEEE 7th Int. Conf. Eng. Educ. ICEED 2015*, pp. 29–34, 2015.
- [5] M. S. Kaiser, M. R. Hossain, F. I. Ali, and M. M. A. Rizvi, "Network Flow Optimization by Genetic Algorithm and Load Flow Analysis by Newton Raphson Method in Power System," *2nd Int'l Conf, ICEEICT 2015*, pp. 21–23, 2015.