

ANALISIS KONTINGENSI SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN METODE FAST DECOUPLED UNTUK MENGHITUNG ALIRAN DAYA DI GARDU INDUK TELLO

Hartini An Nuur Muhammad¹, Aksan², Andarini Asri³

¹Politeknik Negeri Ujung Pandang

Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245

hartiniannuurmuhammad@gmail.com¹, aksansubarjo@yahoo.co.id², andarinasri@gmail.com³

7 Informasi Artikel

Diterima, 4 April 2023
Direvisi, 2 Februari 2023
Disetujui, 15 Februari 2023
Dipublikasi, 7 April 2023

Abstract

Contingency is a disturbance in the form of the release of one or more elements of the electric power system. This condition is related to the reliability of operation of an electric power system which must still carry out its duties to serve the existing load if a disturbance occurs in one of its elements. The aim of this research is to carry out a contingency analysis (N-1) based on the Performance Index using the Fast Decoupled power flow method in the Tello Main Substation electrical system with the help of MATLAB software. By combining quantitative and qualitative research methods to provide a more comprehensive understanding of system responses to system failures. Channel ranking is done based on the highest to lowest Performance Index (PI) value. The influence of the N-1 contingency on the electric power system above results in overload on buses 5-6. The first sequence is channel 5-6 with a PI value of 2.9464. Next, the second sequence is channels 1-6 with a PI value of 0.0001, on bus 1 there is a slack bus which can be a helper if there is a bus that needs power so that it doesn't drop too far which can cause overload. Furthermore, channels 1-2, 2-3, 2-5, 3-4, 4-5 with a PI value of 0.000, these channels have a smaller PI value due to minimal overload occurring when the N-1 contingency is carried out, this is due to the load being not too big on the channel and still able to support power that is not too large. Where if the PI value is greater than 1 then the PI value can be said to be overloaded and if the PI value is less than 1 then it can be said that the channel is in good condition. After carrying out a contingency simulation on the Tello Main Substation's electrical power system, it was found that the channel was experiencing overload as an impact on the system when the channel discharge occurred.

Key words: Contingency Analysis, Fast Decoupled, Performance Index, Contingency Ranking.

Abstrak

Kontingensi merupakan suatu gangguan berupa terlepasnya satu atau lebih elemen sistem tenaga listrik. Kondisi ini berkaitan dengan keandalan operasi sebuah sistem tenaga listrik yang tetap harus melakukan tugasnya untuk melayani beban yang ada jika terjadi gangguan pada salah satu elemennya. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis kontingensi (N-1) berdasarkan *Performance Index* dengan metode aliran daya *Fast Decoupled* pada sistem kelistrikan Gardu Induk Tello dengan bantuan *software* MATLAB. Dengan menggabungkan metode penelitian kuantitatif dan kualitatif untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang respon sistem terhadap kegagalan sistem. Perankingan saluran dilakukan berdasarkan nilai *Performance Index* (PI) tertinggi ke terendah. Pengaruh kontingensi N-1 pada sistem tenaga listrik diatas mengakibatkan *overload* pada bus 5-6. Urutan pertama saluran 5-6 dengan nilai PI 2.9464. Selanjutnya urutan kedua saluran 1-6 dengan nilai PI 0.0001, pada bus 1 terdapat *slack bus* yang menjadi pembantu apabila ada bus yang membutuhkan daya agar tidak terjadi *drop* terlalu jauh yang dapat menyebabkan *overload*. Selanjutnya saluran 1-2, 2-3, 2-5, 3-4, 4-5 dengan nilai PI 0.000, saluran tersebut memiliki nilai PI lebih kecil dikarenakan minimnya terjadi *overload* saat dilakukan kontingensi N-1, hal ini dikarenakan beban yang tidak terlalu besar pada saluran dan masih mampu menopang daya yang tidak terlalu besar. Dimana jika nilai PI lebih besar dari 1 maka nilai PI dapat dikatakan *overload* dan apabila nilai PI kurang dari 1 maka dapat dikatakan saluran dalam keadaan baik. Setelah melakukan simulasi kontingensi pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Tello ditemukan saluran yang mengalami *overload* sebagai dampak terhadap sistem pada saat pelepasan saluran terjadi.

Kata kunci: Analisis Kontingensi, Fast Decoupled, Performance Index, Ranking Kontingensi.

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu energi yang bermanfaat bagi kehidupan manusia modern, karena mempunyai satu fungsi fundamental untuk memenuhi kebutuhan manusia, sehingga diperlukan pasokan energi yang stabil. Untuk mengatasi kekurangan pasokan energi, maka pemerintah membangun pusat pembangkit listrik yang berdaya besar. Dalam proses pengoperasian jaringan transmisi tidak terlepas dari suatu gangguan, gangguan pada sistem transmisi sendiri dapat bersifat permanen atau sementara. Gangguan yang terjadi dapat merusak atau mempengaruhi aliran daya pada saluran dan menyebabkan kerugian finansial [1]. *Losses* dan

*penulis korespondensi
e-mail :

drop tegangan merupakan sebuah permasalahan yang membuat kerugian yang berarti, maka dari itu faktor keandalan sebuah sistem perlu diperhitungkan untuk mengurangi kerugian tersebut [2].

Apabila salah satu pembangkit terlepas, sistem akan mengalami kekurangan daya untuk melayani beban yang ada. Jika salah satu saluran transmisi terlepas dari sistem maka beban yang dipikul akan dialihkan ke saluran lain yang tersisa, hal ini menyebabkan saluran yang tersisa kelebihan beban (*overload*) yang disertai dengan pelepasan saluran [2][3]. Analisis kontingensi adalah proses analisis aliran daya apabila terjadi gangguan berupa terlepasnya salah satu unit pembangkit atau saluran pada sistem tenaga listrik atau sering disebut dengan (N-1). Hal ini menjadi sangat penting untuk sistem dirancang dan dioperasikan agar dalam keadaan kontingensi atau terlepasnya salah satu unit baik itu pembangkit atau saluran transmisi tidak mengakibatkan pemadaman pada sebagian besar atau seluruh sistem (*blackout*) [2][3].

Dengan adanya permasalahan diatas maka penulis mengangkat judul skripsi yaitu : "Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik dengan Metode *Fast Decoupled* untuk Menghitung Aliran Daya di Gardu Induk Tello". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada perubahan daya aktif dan reaktif pada sistem kelistrikan Gardu Induk Tello ketika salah satu saluran transmisi (N-1) terlepas dari sistem dan mengidentifikasi saluran-saluran yang mengalami *overload* akibat dari pelepasan saluran menggunakan persamaan *Performance Index*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian dibidang analisis kontingensi telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan menggunakan berbagai metode untuk penyelesaian penelitian, seperti yang di lakukan oleh Cahya Nanda Priyadi dengan judul "*Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik Berbasis Metode Aliran Daya Newton-Rapson*"[2]. Pada penelitian ini penulis menyajikan tentang percobaan kontingensi pada sistem 5 bus IEEE dengan menggunakan metode aliran daya *Newton Raphson* (NR) yang diterapkan pada *software* ETAP untuk menyelesaikan permasalahan komputasi yang cukup rumit. Perankingan yang dibuat berdasarkan pada tingkat keparahan suatu saluran bus berdasarkan indeks performa pada saat terjadi kontingensi.

Penelitian dengan tema yang sama juga telah dilakukan oleh Ahmad Mursali Arifin dan Firmansyah Nur Budiman, S.T., M. Sc., dengan judul "*Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik pada Jaringan 150 kV*"[4]. Pada penelitian ini penulis melakukan analisis kontingensi menggunakan metode 1P1Q, dengan perhitungan Indeks Performa (IP) saluran menggunakan nilai daya aktif dan perhitungan Indeks Performa (IP) tegangan menggunakan nilai tegangan bus. Hasil perhitungan digunakan untuk mendapatkan urutan kontingensi sehingga memudahkan dalam menganalisa setiap skema kontingensi pada sistem. Pemilihan metode 1P1Q untuk digunakan pada penelitian ini dikarenakan perhitungan aliran daya AC (*Alternate Current*) tidak banyak dilakukan penyederhaan.

Penelitian yang sama juga telah dilakukan oleh Herri Gusmedi dan L H Jenni Legita dengan judul "*Analisis Kontingensi Saluran Transmisi Dengan Menggunakan Indeks Performa Tegangan (PIV) dan Indeks Performa Daya Aktif (PIMW)*" [5]. Pada penelitian ini penulis mengusulkan indeks performa untuk analisis kontingensi sistem tenaga listrik. Metode aliran daya *Newton-Raphson* digunakan dalam pekerjaan ini untuk mendapatkan kondisi sistem daya atau keadaan pada operasi normal dan setelah terjadi kontingensi. Dua indeks performa, yaitu indeks performa tegangan dan indeks performa daya aktif dihitung berdasarkan kondisi ini. Metode yang diusulkan diterapkan untuk mengevaluasi kinerja Sistem Tenaga Listrik 150 kV UPT Tanjung Karang di bawah dua kondisi pembebanan, yaitu beban puncak dan beban *off-peak* untuk berbagai kombinasi kontingensi ke sistem tenaga listrik.

Penelitian dengan tema yang sama yaitu tentang kontingensi juga telah dilakukan oleh Rahmad Syafri Utama dengan judul "*Analisis Kontingensi Sistem Tenaga 30 BUS IEEE Berbasis Metode Aliran Daya Fast Decoupled*" [6]. Pada penelitian ini penulis melakukan penelitian kontingensi dengan menggunakan nilai PI untuk menentukan ranking saluran mana yang mengalami pembebanan kritis yang akan diimplementasikan pada sistem 30 BUS IEEE. Dari hasil perhitungan aliran daya, diambil nilai daya aktif saluran dengan batas maksimal iterasi yang telah ditentukan untuk mencapai nilai konvergen pada metode. Perankingan saluran dilakukan sesuai dengan nilai *Performance Index* (PI). Perhitungan PI dilakukan pada setiap pelepasan saluran dengan bantuan *software* MATLAB.

Pada penelitian ini penulis melakukan percobaan kontingensi pada sistem kelistrikan Gardu Induk Tello dengan menggunakan metode *Fast Decoupled* yang disimulasikan pada *software* MATLAB. Ranking kontingensi dilakukan berdasarkan *Performance Index* dan mengurutkan nilai *Performance Index* dari yang terbesar. Adapun yang membedakan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan adalah pada hasil akhir penulis hanya menghitung besar daya aktif dan reaktif menggunakan PI untuk meranking kontingensi terbesar beserta pengaruh dari kontingensi saluran terhadap sistem dan mengidentifikasi saluran-saluran yang mengalami *overload* akibat dari pelepasan saluran menggunakan persamaan *Performance Index*.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Berdasarkan buku [7] secara umum, sistem diartikan sebagai suatu kesatuan yang terdiri beberapa komponen atau elemen yang dihubungkan untuk memudahkan aliran informasi, materi atau energi untuk mencapai suatu tujuan. Dengan demikian, sebuah sistem pasti terdiri dari beberapa komponen penyusun yang dihubungkan sedemikian rupa sehingga dapat bekerja sesuai perannya masing-masing untuk mencapai tujuan tertentu.

2.3 Analisis Kontingensi

Analisis kontingensi adalah suatu analisis untuk memprediksi aliran daya dan kondisi tegangan bus bila terjadi kegagalan yang antara lain : *outage* saluran transmisi, *outage transformer*, *outage beban*, *outage* unit pembangkit, *outage kapasitor/reactor* dan sebagainya. Analisis ini adalah usaha untuk mengetahui keadaan operasi suatu sistem tenaga listrik saat komponen mengalami kegagalan atau bahkan keluar dari sistem. Dengan analisis kontingensi ini, diharapkan operasi suatu sistem tenaga listrik dapat berjalan dengan aman walaupun terjadi kegagalan/ gangguan pada sistem [8].

2.4 Performance Indeks

Performance Index (PI) adalah sebuah indeks yang digunakan untuk mengukur deviasi dari sebuah variable sistem tenaga listrik seperti tegangan bus, aliran daya dari nilai rating yang terukur. Indeks ini juga dapat digunakan untuk mengevaluasi stabilitas relative dari sebuah kontingensi (N-1).

Berikut adalah persamaan yang akan digunakan dalam mengetahui pengaruh suatu saluran untuk sistem tenaga listrik [9] :

$$PI = \sum_{\text{semua saluran}} \left(\frac{P_{\text{flow } i}}{P_{\text{max } i}} \right)^{2n} \quad (1)$$

Dimana:

- PI = *Performance Index*
- $P_{\text{flow } i}$ = Daya yang mengalir pada setiap saluran (MW)
- $P_{\text{max } i}$ = Kapasitas maksimum setiap saluran (MW)
- n = Konstanta rumus dengan nilai 1

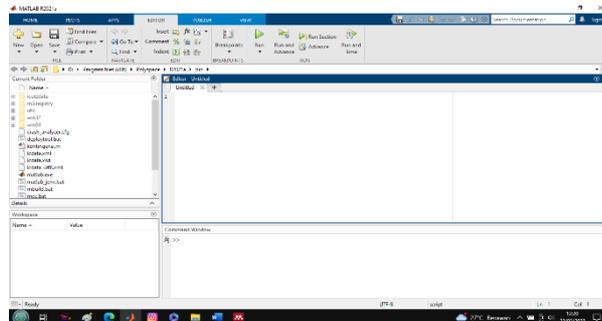
2.5 Fast Decoupled Load Flow

Teori *Fast Decoupled Load Flow* (FDLF) digunakan pada pengoperasian sistem tenaga dalam kondisi tunak. Kondisi tersebut bergantung pada daya nyata dengan sudut fasa, tegangan bus, dan antara daya reaktif dengan magnitude tegangan bus. Dalam kondisi ini, adanya perubahan yang kecil pada magnitude tegangan tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya nyata [10]. Dalam perhitungan aliran daya ada beberapa kondisi yang dilakukan oleh sistem dengan menaikkan dan menurunkan beban tiap bus, perubahan perbandingan antara R dan X serta pengaruh terhadap sudut fasa.

2.6 MATLAB

Berdasarkan buku [11] MATLAB merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman, analisis, serta komputasi teknis dan matematis berbasis matriks. MATLAB adalah singkatan dari *Matrix Laboratory* karena mampu menyelesaikan masalah perhitungan dalam bentuk matriks. Pada awalnya, MATLAB didesain untuk menyelesaikan masalah-masalah persamaan aljabar linear. Seiring berjalannya waktu, program ini terus mengalami perkembangan dari segi fungsi dan performa komputasi.

Berikut adalah tampilan dari MATLAB yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 1. Tampilan MATLAB

3. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini peneliti akan terlebih dahulu membuat pemodelan sistem tenaga listrik Gardu Induk Tello pada *software* MATLAB. Dalam permasalahan ini dibutuhkan data-data yang berhubungan dengan analisis kontingensi seperti data sistem tenaga listrik, dimana didalamnya terdapat nilai bus daya aktif dan reaktif.

Tahapan berikutnya ialah memasukkan data bus untuk dilakukan analisis kontingensi ke koding utama metode *fast decoupled* pada MATLAB lalu disimulasikan. Dimana metode ini akan mengiterasi dengan jumlah yang telah ditentukan agar dapat mengeluarkan nilai daya yang digunakan untuk melakukan ranking pada analisis kontingensi.

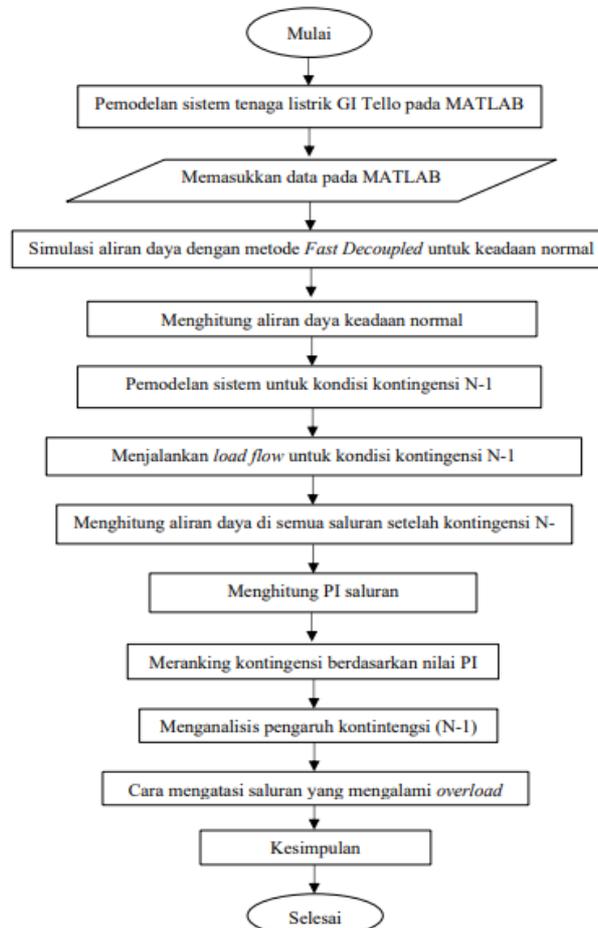
Setelah koding disimulasikan akan keluar hasil dari komputasi dari MATLAB yang berupa data sebagai berikut :

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

Setelah semua hasil simulasi sudah didapatkan, tahapan berikutnya adalah pemodelkan sistem dalam analisis kontingensi N-1 dan menjalankan kembali *loadflow* untuk pelepasan saluran melalui aplikasi MATLAB, setelah mendapat hasil dari *loadflow*, selanjutnya melakukan ranking sesuai dengan *performance index* untuk tiap kontingensi yang terjadi. Hasil dari perhitungan *performance index* dapat diurutkan sesuai nilai PI terbesar hingga terkecil sehingga didapatkan daftar ranking kontingensi masing-masing *Performance Index* (PI). Daftar ranking kontingensi berfungsi untuk melihat pengaruh skema tiap kontingensi.

Kemudian tahapan setelahnya melakukan analisa setiap skema kontingensi dan keamanan sistem apakah perubahan aliran daya masih dalam toleransi atau dapat membahayakan sistem tersebut. Hasil perhitungan *Performance Index* (PI) apakah dihasilkan data yang telah sesuai dengan apa yang diharapkan untuk mendapatkan hasil akurasi yang tinggi dalam proses pengurutan nilai PI.

Tahapan terakhir peneliti akan membuat kesimpulan dan saran dari hasil semua yang telah dilakukan pada penelitian, dimana kesimpulan berisi hal-hal yang dianggap penting, dan saran berisi masukan untuk kesempurnaan dari penelitian ini. Gambar 1 menunjukkan *flowchart* penelitian



Gambar 2. *Flowchart* penelitian

3.2 Perancangan Sistem Simulasi

Simulasi pemecahan masalah analisis kontingensi dengan metode *fast decoupled* ini menggunakan *software* MATLAB. Didalam *fast decoupled* cara kerjanya sangat mempengaruhi pengoperasian sistem tenaga dalam kondisi tunak, metode *fast decoupled* sangat bergantung pada daya aktif, reaktif dan dengan magnitude tegangan bus [10]. Parameter yang berkaitan dengan *fast decoupled* yaitu antara P dan δ serta antara Q dan V. *Fast decoupled* sendiri terdapat dari substitusi metode *load flow* NR yang mengabaikan nilai matrik jacobian dan diganti dengan matriks admitansi Y untuk membentuk matriks B' dan B''.

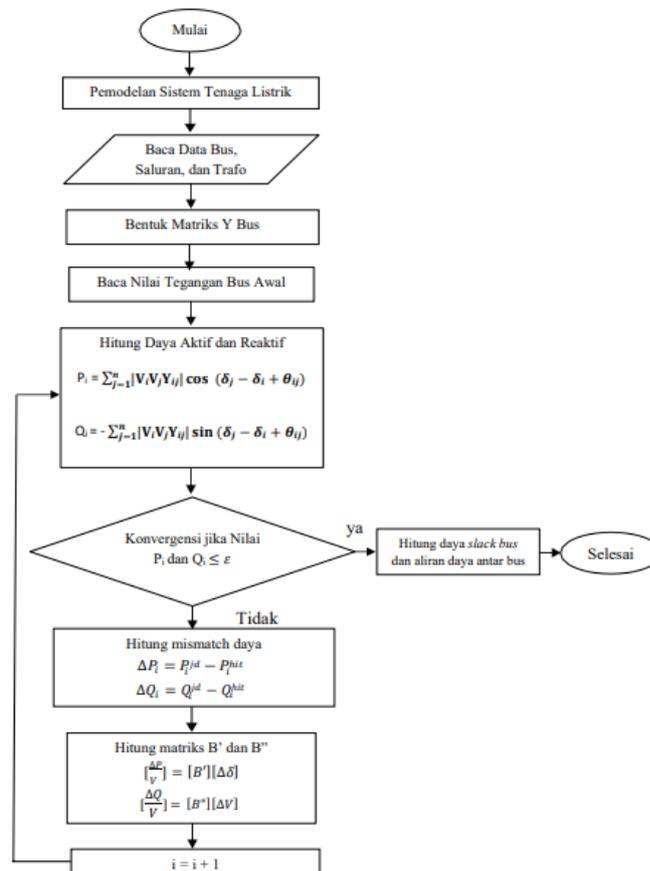
Setelah didapatkan nilai aliran daya dari *fast decoupled* tindakan selanjutnya yaitu menentukan nilai *performance index* untuk mengetahui nilai keadaan saluran agar dapat di lihat ranking PI sesuai dengan persamaan (1) diatas.

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 pembangkitan 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 tenaga listrik Gardu Induk Tello.

3.3 Implementasi Metode

Simulasi pemecahan masalah analisis kontingensi ini menggunakan *software* MATLAB akan diimplementasikan pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Tello. Dengan menggunakan metode *fast decoupled*, yang membedakan metode *fast decoupled* dengan *Newton-Raphson* yaitu tidak menggunakan lagi nilai matriks jacobian, matriks tersebut di ganti dengan matriks Y kemudian matriks jacobian di substitusikan menjadi matrik B' dan B''.

Selanjutnya pada permasalahan kontingensi dibutuhkan parameter-parameter untuk membantu penyelesaiannya seperti dibutuhkannya nilai toleransi yang akan di butuhkan saat berjalannya program, dan pada metode *fast decoupled* nilai *output* yang diambil untuk di lakukan 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 menunjukkan *flowchart* dari sistem kerja dari simulasi MATLAB yang akan dilakukan untuk memecahkan permasalahan analisis kontingensi dengan metode *fast decoupled*.

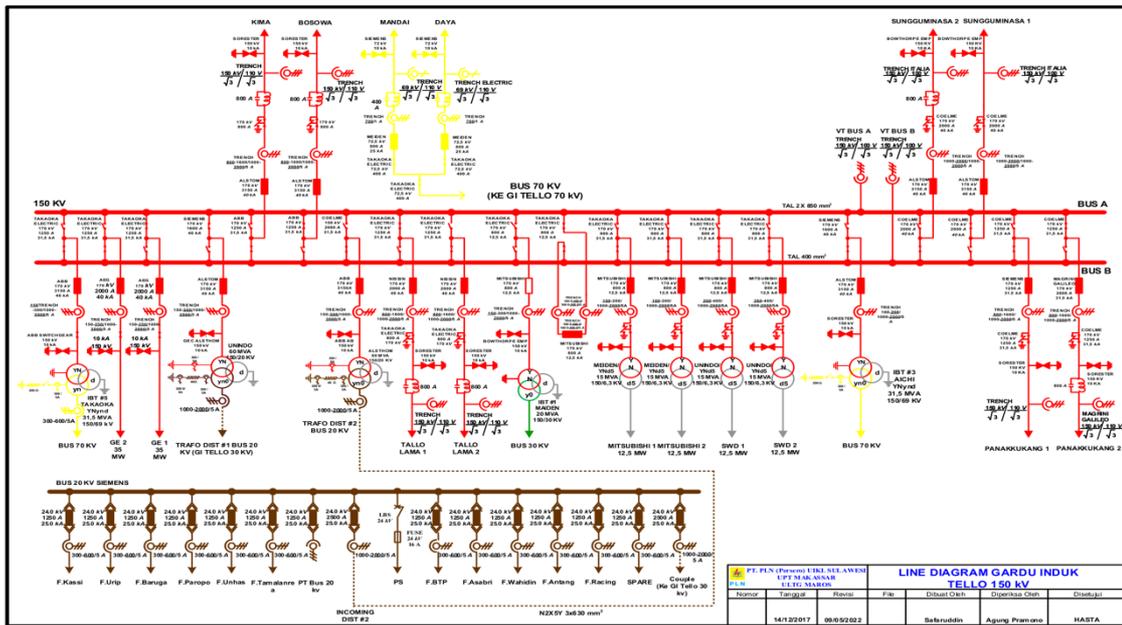


Gambar 3 Flowchart Metode Fast Decoupled

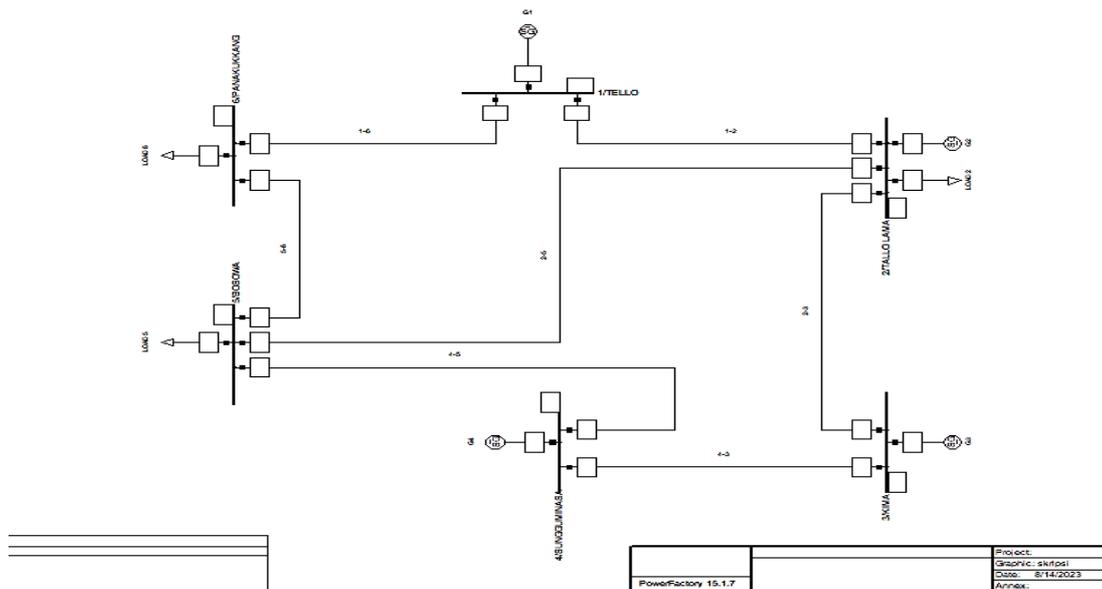
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk Tello 150 kV

Single line diagram sistem tenaga listrik Gardu Induk Tello menggunakan sistem transmisi 150 kV seperti pada gambar 4 (a). Untuk memudahkan perhitungan menggunakan metode *fast decoupled* pada MATLAB terlebih dulu melakukan penyederhanaan dalam *single line diagram*, bentuk sederhana dari *single line diagram* ini bisa dilihat pada gambar 4 (b) yang telah dimuat pada *software Digsilent*. Pada pemodelan *single line diagram* dalam bentuk sederhana ini terdapat 6 bus dimana diantaranya bus 1/Tello sebagai *slack bus* dimana pada bus terdapat 1 generator sebagai pembangkit, bus 1/Tello disini sebagai titik pusat dalam sistem atau stasiun pembangkit utama. Selanjutnya bus 2/Tallo Lama sebagai *load bus*, pada bus 2 terdapat 1 generator dan 1 beban, dimana bus ini sebagai titik jaringan listrik dimana terdapat kombinasi dari pembangkitan dan konsumsi daya. Bus 3/KIMA dan 4/Sungguminasa sebagai *voltage controlled bus* atau biasa disebut PV bus, pada bus ini terdapat 1 generator dimana bus ini sebagai pengontrol aliran daya aktif yang akan di suplai ke jaringan dan menjaga tegangan dalam rentang yang diinginkan untuk menjaga stabilitas sistem. Terakhir bus 5/Bosowa dan 6/Panakukkang sebagai *load bus*, pada bus ini terdapat beban dimana bus ini adalah titik jaringan listrik dimana beban terhubung.



(a)



(b)

Gambar 4. Single line diagram, (a) Single line diagram Gardu Induk Tello 150 kV, (b) Single line diagram Gardu Induk Tello 150 kV dengan pemodelan yang telah disederhanakan

4.2 Simulasi Kontingensi (N-1)

Pada simulasi kontingensi N-1 ini peneliti melepas saluran pada bus 3 yang dimana bus 3 sebagai *voltage controlled bus* atau PV bus. Untuk pelepasan saluran peneliti memodelkan sistem dengan cara mengubah parameter pada bus 3 dengan angka nol untuk disetiap parameter yang diketahui sebelumnya. Berikut adalah tabel hasil simulasi kontingensi N-1 dan rugi-rugi daya.

Tabel 1. Hasil simulasi kontingensi N-1

| Bus | V | Deg | P Load (MW) | Q Load (MVar) | P Generator (MW) | Q Generator (MVar) | Inject (Mvar) |
|--------------|-------|--------|-------------|---------------|------------------|--------------------|---------------|
| 1 | 1.010 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -8.044 | 2.675 | 0.000 |
| 2 | 1.077 | 1.921 | 3.300 | -3.900 | 3.300 | 3.300 | 0.000 |
| 3 | 1.000 | 8.402 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.227 | 0.000 |
| 4 | 1.020 | 13.369 | 0.000 | 0.000 | 41.300 | 10.967 | 0.000 |
| 5 | 0.948 | 5.164 | 40.300 | 6.300 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6 | 0.960 | 6.003 | -9.300 | 3.300 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Total | | | 34.300 | 5.700 | 36.556 | 13.715 | 0.000 |

Tabel 2. Line flow and losses

| Line | | Power At Bus & Line Flow | | | Line Losses | |
|---------------------|----|--------------------------|--------|--------|-------------|-------|
| From | To | MW | Mvar | MVA | MW | Mvar |
| 1 | | -8.044 | 2.675 | 8.477 | | |
| | 2 | -2.753 | -2.203 | 3.526 | 0.102 | 0.243 |
| | 6 | -5.288 | 4.884 | 7.198 | 0.198 | 0.791 |
| 2 | | 0.000 | 7.200 | 7.200 | | |
| | 1 | 2.855 | 2.446 | 3.760 | 0.102 | 0.243 |
| | 3 | -2.732 | 3.650 | 4.559 | 0.171 | 0.569 |
| | 5 | -0.121 | 1.103 | 1.109 | 0.040 | 0.140 |
| 3 | | 0.000 | -3.227 | 3.227 | | |
| | 2 | 2.903 | -3.081 | 4.233 | 0.171 | 0.569 |
| | 4 | -2.904 | -0.148 | 2.907 | 0.034 | 0.259 |
| 4 | | 41.300 | 10.967 | 42.731 | | |
| | 3 | 2.937 | 0.407 | 2.965 | 0.034 | 0.259 |
| | 5 | 38.360 | 10.545 | 39.784 | 1.673 | 5.933 |
| 5 | | -40.300 | -6.300 | 40.789 | | |
| | 2 | 0.161 | -0.963 | 0.977 | 0.040 | 0.140 |
| | 4 | -36.687 | -4.612 | 36.976 | 1.673 | 5.933 |
| | 6 | -3.751 | -0.750 | 3.825 | 0.037 | 0.065 |
| 6 | | 9.300 | -3.300 | 9.868 | | |
| | 1 | 5.486 | -4.092 | 6.844 | 0.198 | 0.791 |
| | 5 | 3.788 | 0.815 | 3.875 | 0.037 | 0.065 |
| Total losses | | | | | 2.256 | 8.000 |

4.3 Meranking Kontingensi (N-1)

Setelah melakukan komputasi dengan bantuan *software* MATLAB maka didapatkan nilai P disetiap saluran, dimana nilai tersebut akan digunakan untuk menghitung nilai *Performance Index* (PI) dengan menggunakan persamaan (1). Berikut tabel hasil simulasi perhitungan *Performance Index* pada MATLAB.

Tabel 3. Hasil simulasi perhitungan *Performance Index* pada MATLAB

| No | Saluran bus | | Nilai PI |
|----|-------------|--------|----------|
| | Bus nr | Bus nl | |
| 1 | 1 | 2 | 0.0000 |
| 2 | 1 | 6 | 0.0001 |
| 3 | 2 | 3 | 0.0000 |
| 4 | 2 | 5 | 0.0000 |
| 5 | 3 | 4 | 0.0000 |
| 6 | 4 | 5 | 0.0000 |
| 7 | 5 | 6 | 2.9464 |

Setelah mendapatkan nilai PI, nilai tersebut 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 apabila terjadi kontingensi (N-1) pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Tello 150 kV. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.3 Hasil komputasi MATLAB nilai PI dan ranking pada saat kontingensi N-1 sistem tenaga listrik Gardu Induk Tello 150 kV.

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

| Saluran bus | | Nilai PI | Ranking |
|-------------|--------|----------|---------|
| Bus nr | Bus nl | | |
| 5 | 6 | 2.9464 | 1 |
| 1 | 6 | 0.0001 | 2 |
| 1 | 2 | 0.0000 | 3 |
| 2 | 3 | 0.0000 | 4 |
| 2 | 5 | 0.0000 | 5 |
| 3 | 4 | 0.0000 | 6 |
| 4 | 5 | 0.0000 | 7 |

Tabel diatas menunjukkan hasil keluaran nilai PI dan ranking kontingensi N-1 pada saluran sistem tenaga listrik Gardu Induk tello 150 kV, dapat dilihat bahwa pengaruh kontingensi N-1 pada setiap saluran sistem tenaga listrik diatas mengakibatkan *overload* pada bus 5-6. Urutan pertama diduduki oleh saluran 5-6 dengan nilai PI sebesar 2.9464. Selanjutnya urutan nomor dua diduduki oleh saluran 1-6 dengan nilai PI sebesar 0.0001, pada bus 1 terdapat *slack bus* yaitu bus yang menjadi pembantu apabila ada bus yang membutuhkan daya agar tidak terjadi *drop* terlalu jauh yang dapat menyebabkan *overload*. Pada urutan Pada urutan selanjutnya ada saluran 1-2, 2-3, 2-5, 3-4, 4-5 dengan nilai PI 0.000, untuk saluran tersebut memiliki nilai PI lebih kecil dikarenakan minimnya terjadi *overload* saat dilakukan kontingensi N-1 pada saluran tersebut, hal ini dikarenakan beban yang tidak terlalu besar pada saluran dan masih mampu menopang daya yang tidak terlalu besar.

Kontingensi N-1 sangat berpengaruh kepada peramalan sistem tenaga apabila ada terjadi sebuah gangguan pada satu atau lebih pada saluran, generator, maupun pembangkit.. *Slack bus* adalah sumber daya utama dalam sistem tenaga yang diatur untuk menjaga kestabilan aliran daya dan tegangan dalam jaringan. Oleh karena itu, saat terjadi kontingensi yang tidak signifikan atau terdapat mekanisme yang pengaturan yang kuat, *slack bus* mungkin tidak mengalami perubahan yang signifikan dalam hasil keluarannya

4.4 Analisis Kontingensi (N-1)

Saluran transmisi mempunyai resiko paling besar jika lepas dari sistem, karena akan menyebabkan gangguan terhadap aliran daya. Ketika terjadi gangguan di salah satu saluran transmisi maka saluran transmisi yang berada di sebelahnya menanggung beban yang lepas tersebut. Jika beban yang ditanggung melebihi batas kemampuan hantar arus akan mengakibatkan *overload*. Hal ini dapat menyebabkan proteksi saluran transmisi bekerja dan dapat menyebabkan sistem *blackout*. Oleh karena itu diperlukanantisipasi dengan melakukan standar operasi pelepasan beban agar sistem dapat beroperasi dengan normal.

Pada simulasi kontingensi pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Tello 150 kV ditemukan saluran yang mengalami *overload* sebagai dampak terhadap sistem pada saat pelepasan saluran terjadi. Adapun yang menjadi perbandingan hasil simulasi kondisi awal/normal dan simulasi kontingensi (N-1) adalah nilai *losses* yang berkurang setelah terjadi kontingensi (N-1).

4.5 Solusi Pencegahan Dampak dari Kontingensi (N-1)

Cara untuk mengatasi *overload* saluran yaitu dengan pelepasan beban (*load shedding*). Pelepasan beban ini dibutuhkan agar arus yang melalui saluran transmisi tidak melebihi kemampuan hantar arus. Besarnya daya yang akan dilepas disesuaikan dengan besarnya arus yang mengalir pada saluran tersebut.

Pada hasil simulasi yang dilakukan pada *software* MATLAB terdapat saluran yang terdampak *overload* yaitu pada saluran 5-6, untuk solusi pencegahan yang dilakukan adalah dengan melakukan pelepasan beban (*load shedding*). Berikut adalah tabel hasil simulasi sebelum dan setelah melakukan pelepasan beban pada saluran 5-6.

Tabel 5. Simulasi sebelum dan setelah melakukan pelepasan beban

| Saluran bus | | Nilai PI sebelum <i>Load Shedding</i> | Nilai PI setelah <i>Load Shedding</i> |
|-------------|--------|--|--|
| Bus nr | Bus nl | | |
| 5 | 6 | 2.9464 | 0.0019 |

Pada tabel 4.9 diatas menunjukkan pada hasil simulasi kontingensi (N-1) yang dilakukan pada *software* MATLAB saluran 5-6 mengalami *overload* dengan nilai PI sebesar 2.9464 dan setelah melakukan simulasi pencegahan *overload* dengan cara pelepasan beban (*load shedding*) didapatkan hasil keluaran dengan nilai PI

0.0019. Dimana jika nilai PI lebih besar dari 1 maka nilai dapat dikatakan *overload* (kondisi tidak aman) 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

Setelah dilakukan *load shedding*, saluran akan menjadi aman karena arus mengalir dibawah kemampuan hantar arus. Selain itu dengan melakukan *load shedding* akan mempengaruhi besarnya kenaikan tegangan di masing-masing bus yang sebelumnya mengalami *undervoltage*. Cara lain untuk mengatasi *overload* adalah penambahan saluran baru atau penambahan pembangkit.

Penutup

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian simulasi kontingensi N-1 dengan menggunakan metode *fast decoupled* pada *software* MATLAB maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Rangkaian kontingensi tertinggi urutan pertama diduduki oleh saluran 5-6 dengan nilai PI sebesar 2.9464. Selanjutnya urutan nomor dua diduduki oleh saluran 1-6 dengan nilai PI sebesar 0.0001. Pada urutan selanjutnya ada saluran 1-2, 2-3, 2-5, 3-4, 4-5 dengan nilai PI 0.000.
2. Pada simulasi kontingensi pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Tello 150 kV ditemukan saluran yang mengalami *overload* sebagai dampak terhadap sistem pada saat pelepasan saluran terjadi.
3. Cara untuk mengatasi *overload* saluran yaitu dengan pelepasan beban (*load shedding*). Pelepasan beban ini dibutuhkan agar arus yang melalui saluran transmisi tidak melebihi kemampuan hantar arus. Besarnya daya yang akan dilepas disesuaikan dengan besarnya arus yang mengalir pada saluran tersebut.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan peneliti adalah sebagai berikut :

1. Melakukan analisis kontingensi dengan membandingkan berbagai metode yang ada, seperti metode *Newton Raphson* dan *Gauss Seidel*.
2. Untuk penelitian selanjutnya dengan mempertimbangkan nilai PI, upaya yang dilakukan jika nilai PI lebih besar dari 1 atau dalam kondisi *overload* yaitu dengan melakukan pelepasan beban (*load shedding*).

Daftar Referensi

- [1] Syafaat Ma'ruf, "ANALISIS KONTINGENSI PADA PERENCANAAN SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN 500 KV TAHUN 2050," 2018.
- [2] C. N. Priyadi, J. T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "ANALISIS KONTINGENSI SISTEM TENAGA LISTRIK," 2018.
- [3] N. Rahmawati, "Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik dengan Metode Bounding".
- [4] A. M. Arifin and F. N. Budiman, "Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan 150 kV," *Repos. Univ. Islam Indones.*, pp. 1-37, 2019, [Online]. Available: [https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/13693/Skripsi_AhmadMursaliArifin_14524003.pdf?sequence=1#:~:text=Analisis kontingensi adalah studi tentang,listrik dapat dilakukan perhitungan terhadap](https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/13693/Skripsi_AhmadMursaliArifin_14524003.pdf?sequence=1#:~:text=Analisis%20kontingensi%20adalah%20studi%20tentang,listrik%20dapat%20dilakukan%20perhitungan%20terhadap)
- [5] H. Gusmedi and L. H. Jenni, "Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP) ANALISIS KONTIGENSI SALURAN TRANSMISI DENGAN MENGGUNAKAN INDEKS PERFORMA TEGANGAN (PIV) DAN INDEKS PERFORMA DAYA AKTIF," vol. 2, 2022.
- [6] R. S. Utama, "Analisis Kontingensi Sistem Tenaga 30 Bus IEEE Berbasis Metode Aliran Daya Fast Decoupled," 2018.
- [7] S. Suripto, *Sistem tenaga listrik*. Yogyakarta, 2017.
- [8] I. Syahputra *et al.*, "Studi Analisis Kontingensi pada Jaringan Interkoneksi 150 kV Sub Sistem Aceh," vol. 2, no. 4, pp. 59-72, 2017.
- [9] G. . S, A. J. Wood, and B. F. Wollenberg, "POWER GENERATION, OPERATION AND CONTROL," no. August, 2013.
- [10] D. Sulistiyono, "Perbandingan metode gauss - seidel, metode newton raphson dan metode fast decoupled dalam solusi aliran daya".
- [11] A. Tjolleng, *Pengantar pemrograman MATLAB : Panduan praktis belajar MATLAB*, no. October 2017. Jakarta, 2019.