BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok dalam kehidupan modern saat ini. Hampir semua aktivitas sehari-hari manusia, baik di sektor rumah tangga, industri, maupun layanan publik, bergantung pada energi listrik (Kaliky and Hutuely, 2022). Penggunaan energi listrik mencakup penerangan, pengoperasian peralatan elektronik, komunikasi, transportasi, dan proses produksi di pabrik-pabrik. Tanpa adanya energi listrik, berbagai aktivitas tersebut akan terhenti dan menyebabkan terganggunya kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, energi listrik memiliki peran yang sangat vital dalam mendukung produktivitas dan kualitas hidup manusia (Damara and Yasa, 2019).

Meskipun energi listrik sangat penting, ketersediaannya masih menjadi tantangan besar di berbagai belahan dunia. Banyak negara masih bergantung pada sumber energi fosil seperti batubara, minyak, dan gas alam untuk pembangkitan listrik (Rosadi and Amar, 2019). Penggunaan bahan bakar fosil ini tidak hanya terbatas ketersediaannya, tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan, seperti peningkatan emisi gas rumah kaca dan polusi udara.

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian penting dari rantai pasokan energi listrik yang membawa listrik dari pembangkit listrik ke konsumen akhir (Mellisa, 2024). Dalam operasinya, sistem tenaga harus mampu menjaga keandalan dan ketersediaan pasokan listrik yang tinggi. Namun, gangguan atau kegagalan pada

sistem ini dapat memiliki dampak yang signifikan, seperti pemadaman listrik massal yang dapat mengganggu berbagai sektor kehidupan.

Analisis kontingensi adalah pendekatan yang penting dalam mengevaluasi keandalan sistem tenaga listrik. Dengan analisis kontingensi sebuah sistem tenaga listrik dapat dilakukan perhitungan terhadap gangguan yang terjadi pada saluran transmisi, sehingga dapat memprediksi perubahan kapasitas transmisi maupun tegangan bus yang tersisa apakah masih bisa dibebani atau sudah mengalami kondisi overload (Arifin, 2019). Analisis ini memerlukan metodologi yang tepat untuk mengidentifikasi kondisi-kondisi yang mungkin mengakibatkan kegagalan sistem.

Sistem 30 Bus IEEE adalah sistem uji standar yang dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) untuk penelitian dan simulasi pada bidang sistem tenaga listrik. Model ini digunakan untuk analisis aliran daya, stabilitas sistem, analisis kontingensi, dan optimasi pembangkitan. Sistem 30 Bus IEEE berfungsi sebagai acuan internasional karena memiliki data lengkap, ukuran jaringan yang menengah, serta hasil simulasi yang dapat dibandingkan secara global oleh para peneliti sistem tenaga listrik.

Metode Distributed Slack Bus adalah pendekatan dalam analisis aliran daya pada sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk mendistribusikan peran bus slack ke beberapa bus dalam jaringan. Slack bus digunakan untuk mengalihkan fungsi dari gardu induk yang satu ke gardu induk yang lain jika terjadi gangguan. Slack Bus dipersiapkan untuk memenuhi perbedaan antara beban yang terjadi dengan daya pembangkitan yang disebabkan oleh losses pada jaringan (Sofyan et al., 2023).

Metode Distributed Slack Bus digunakan untuk mendistribusikan beban daya aktif dan reaktif secara proporsional ke beberapa bus slack dalam sistem tenaga 30 bus IEEE. Hal ini penting dalam analisis kontingensi, di mana kondisi gangguan (misalnya kegagalan satu atau beberapa komponen) menyebabkan perubahan beban yang harus diseimbangkan oleh bus slack.

Analisis mendalam terhadap kontingensi pada sistem tenaga menggunakan metode aliran daya Distributed Slack Bus pada jaringan 30 bus IEEE. Dengan melakukan simulasi dan evaluasi, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh kondisi kontingensi terhadap kinerja sistem, serta mengidentifikasi strategi mitigasi yang efektif untuk meningkatkan keandalan dan respons sistem tenaga listrik.

1.2 Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil aliran daya sistem tenaga listrik 30 bus IEEE pada kondisi normal menggunakan metode Distributed Slack Bus?
2. Bagaimana dampak kondisi kontingensi terhadap profil tegangan bus dan pembebanan saluran pada sistem tenaga listrik 30 bus IEEE menggunakan metode Distributed Slack Bus?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil aliran daya sistem tenaga listrik 30 bus IEEE pada kondisi normal menggunakan metode Distributed Slack Bus.

2. Mengidentifikasi perubahan profil tegangan bus dan pembebanan saluran akibat kondisi kontingensi N-1 pada sistem tenaga listrik 30 bus IEEE.
3. Menentukan bus yang mengalami penurunan tegangan paling besar akibat kontingensi, sehingga dapat diketahui bus yang paling rentan terhadap gangguan.
4. Menentukan saluran transmisi yang paling kritis berdasarkan hasil analisis kontingensi, nilai tegangan minimum, dan Performance Index.
5. Mengevaluasi tingkat keandalan sistem tenaga 30 bus IEEE dalam menghadapi kondisi kontingensi menggunakan metode aliran daya Distributed Slack Bus.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem tenaga listrik yang dianalisis hanya menggunakan model standar IEEE 30 Bus sebagai objek simulasi.
2. Metode aliran daya yang digunakan adalah metode Distributed Slack Bus dengan penyelesaian aliran daya menggunakan pendekatan Newton-Raphson.
3. Simulasi dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB.
4. Kontingensi yang diuji hanya berupa kontingensi N-1 pada saluran transmisi, yaitu pelepasan satu saluran transmisi pada setiap skenario simulasi.
5. Penelitian ini tidak membahas kontingensi pada generator, transformator secara terpisah, maupun pelepasan lebih dari satu komponen secara bersamaan atau kontingensi N-2.

6. Penelitian ini tidak membahas gangguan hubung singkat, kestabilan transien, proteksi sistem tenaga, maupun analisis harmonisa.
7. Parameter yang dianalisis dibatasi pada hasil aliran daya, profil tegangan bus, pembebanan saluran, tegangan minimum, dan tingkat keparahan kontingensi berdasarkan Performance Index.
8. Batas tegangan operasi yang digunakan dalam analisis adalah 0,95 p.u. sampai 1,05 p.u. sebagai acuan kondisi tegangan normal

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1.5.1 Bagi Peneliti

a) Pengembangan Keilmuan Memperdalam pemahaman tentang metode aliran daya Distributed Slack Bus dalam konteks analisis keandalan sistem tenaga listrik, yang dapat menjadi kontribusi terhadap literatur ilmiah dan pengembangan metodologi di bidang teknik elektro.
b) Keterampilan Analisis Meningkatkan keterampilan dalam melakukan simulasi dan evaluasi sistem tenaga listrik, serta penerapan metode numerik dalam penyelesaian masalah teknik yang kompleks.
c) Pengalaman Penelitian Memberikan pengalaman berharga dalam mengelola proyek penelitian yang melibatkan analisis sistem, penggunaan perangkat lunak simulasi, dan interpretasi data untuk mendukung pengambilan keputusan

1.5.2 Bagi Masyarakat

a) Peningkatan Keandalan Energi Listrik Hasil penelitian dapat membantu dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keandalan sistem tenaga listrik, sehingga memungkinkan pengembangan strategi mitigasi untuk mengurangi risiko pemadaman listrik massal.

b) Efisiensi Energi Dengan memahami respons sistem terhadap kondisi kontingensi, penelitian ini dapat mendukung upaya untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pengelolaan sistem tenaga, sehingga mengoptimalkan penggunaan sumber daya energi.

a. Dampak Lingkungan Melalui analisis yang lebih baik terhadap keandalan sistem, penelitian ini juga dapat berpotensi mengurangi dampak lingkungan negatif dari gangguan sistem tenaga, seperti pemakaian bahan bakar fosil yang berlebihan dalam situasi darurat.