

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era sekarang bahan bakar fosil dan peningkatan efek rumah kaca sudah menjadi isu yang krusial dan menjadi permasalahan global [1]. Permasalahan ini sejalan dengan kemajuan sistem tenaga listrik dan selalu menghasilkan inovasi yang relevan dengan kebutuhan umat manusia [2]. Salah satu inovasi dalam sistem tenaga listrik ialah energi alternatif yang banyak dikembangkan antara lain energi angin, solar panel, pengumpul energi matahari (*solar collector*), bahan bakar nabati (*biofuel*), sel bahan bakar (*fuel cell*), mikrohidro, dan arus laut. Selain memanfaatkan energi alternatif, mengatur pola pembangkitan pada jaringan distribusi juga merupakan suatu inovasi sistem tenaga. *Microgrid* merupakan salah satu contoh pola pembangkitan terdistribusi yang melingkupi berbagai macam sumber energi, dari sumber energi fosil maupun sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang memiliki sistem interkoneksi beban dan berbagai macam sumber yang terdistribusi [3].

Saat ini sistem fotovoltaik dan teknologi angin memainkan peran penting dalam pembangkit listrik dibandingkan dengan sistem tradisional yang berdiri sendiri. Denmark tercatat sebagai negara yang paling banyak menggunakan sistem fotovoltaik dan teknologi angin [4]. Berdasarkan data *ember climate*, porsi listrik dari pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Denmark mencapai 51,9% dari total listrik yang dihasilkan di negara tersebut pada 2021. Di posisi selanjutnya ada Uruguay dengan porsi PLTB dan PLTS sebesar 46,7%, diikuti Luksemburg 43,4%, Lithuania 36,9%, dan Spanyol 32,9%. Secara global, pembangkit listrik tenaga bayu dan surya menghasilkan 10,3% pasokan listrik dunia pada tahun 2021 dan angka ini meningkat dari 9,3% pada tahun 2020 [5].

Pemanfaatan energi surya di Indonesia saat ini baru sekitar 150 MW atau 0,08% dari potensinya [6] dan PLTB baru terpasang sekitar 135 MW dengan perincian 75 MW di daerah Sidrap dan sebesar 60 MW di daerah Janeponto hingga

tahun 2020 [7]. Dengan demikian pengembangan dan pemanfaatan energi surya dan angin (bayu) di Indonesia masih menjadi tantangan nasional.

Teknologi fotovoltaik dan teknologi angin juga memainkan peran kunci dalam pergeseran menuju pertumbuhan hijau, ekonomi rendah karbon, dan bagian yang lebih besar dari energi terbarukan dalam bauran energi [8]. Hal ini menciptakan tantangan baru dalam pengelolaan dan pengoperasian sistem tenaga karena intermiten dan variabilitas pembangkit listrik fotovoltaik dan energi angin [9]. Intermiten dan variabilitas ini mengamanatkan studi dampak jaringan harus dilakukan dan memerlukan analisis yang komprehensif sebelum penetrasi pembangkit energi terbarukan intermiten (*intermittent renewable energy generators* - IREGs) khususnya fotovoltaik (*photovoltaic* - PV) dan pembangkit turbin angin (*wind turbin generators* - WTG) ke jaringan (*grid*). Pemodelan yang akurat serta sistem pengkondisian daya integrasi sistem fotovoltaik dan energi angin perlu dipahami dengan baik untuk merancang dan menilai kinerja sistem. Kegagalan penilaian pada sistem fotovoltaik dan energi angin dapat menyebabkan ketidakstabilan jaringan sehingga mengorbankan keandalan sistem tenaga, keamanan pasokan dan kualitas daya jaringan utilitas [10].

Sumber daya yang menghasilkan IREGs adalah matahari dan angin. Daya yang dihasilkan sangat bervariasi dan tidak terdeterministik selama rentang waktu tertentu. Hal ini membuat IREGs berbeda dari tenaga konvensional atau bahan bakar fosil yang dapat dikirim. Keberhasilan integrasi studi dan pengalaman IREGs ke dalam jaringan listrik menyajikan bahwa ada kebutuhan untuk pembangkit penyeimbang yang cepat, prakiraan cuaca jangka pendek dan jangka panjang yang akurat, dan pasar yang fleksibel [11]. Perubahan ini memerlukan analisis yang komprehensif karena masalah yang berkaitan dengan integrasi IREGs ke dalam sistem bisa multifaset dan rentang disiplin ilmu yang berbeda [12]. Beberapa studi mengemukakan bahwa tingkat penetrasi IREGs lebih dari 30% dimungkinkan tanpa mengorbankan stabilitas transien sistem tenaga [13].

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat efisiensi dan kinerja sistem fotovoltaik serta pembangkit turbin angin. Selain kondisi suhu lingkungan dan fluktuasi radiasi matahari, karakteristik yang dimiliki sistem fotovoltaik juga dapat

menyebabkan masalah serius terkait dengan respon efisiensi dan kualitas daya sistem secara keseluruhan. Radiasi matahari yang rendah memiliki dampak yang signifikan terhadap keluaran sistem fotovoltaik dan kualitas daya sistem. Sedangkan kualitas daya pembangkit turbin angin dominan dipengaruhi oleh kecepatan angin, konverter dan jenis generator.

Kualitas daya dapat dikatakan baik apabila tegangan sinusoidal dan arus keluaran sistem tenaga bebas dari harmonisa, interharmonik dan distorsi tegangan [14]. Dalam pencapaian kualitas daya yang bagus diperlukan pemodelan sistem tenaga listrik yang sesuai standar tertentu. Standar pelayanan listrik nasional (SPLN) No. 1 tahun 1995, merupakan standar yang mengatur batas toleransi jatuh tegangan sebesar +5% dan -10% [15]. Kemudian SPLN D5.004-1: 2012, merupakan standar yang mengatur batas harmonisa yang diperbolehkan pada jaringan listrik.

Salah satu contoh kualitas daya listrik yang mengalami penurunan ialah gardu induk (GI) Rayon Meulaboh Kota. Pada penyulang GI terdapat dua gardu hubung yang mengalami pertumbuhan beban paling signifikan yaitu gardu hubung (GH) Lamno dan gardu hubung (GH) Calang. GH Lamno sendiri memiliki saluran dengan panjang 150 km dari GI Meulaboh. Hal ini mengakibatkan adanya tegangan jatuh sebesar 11,8%, dengan nilai tegangan kirim dari gardu induk sebesar 20 kV dan tegangan terima terendah mencapai 17,64 kV. Fenomena ini secara signifikan melampaui batas toleransi yang ditetapkan. Dengan kondisi ini, menunjukkan perlunya tindakan perbaikan atau peningkatan kapasitas dalam rangka memenuhi persyaratan yang berlaku.

Bus GH Lamno dan GH Calang juga melayani beragam pelanggan, termasuk pelanggan besar seperti industri dan pelanggan kecil seperti rumah tangga. Seiring pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, dan peningkatan aktivitas industri di wilayah Lamno dan Calang, beban yang harus dipasok oleh sistem distribusi ini semakin meningkat setiap tahunnya. Faktor-faktor ini secara signifikan memengaruhi kualitas pendistribusian energi listrik di wilayah tersebut. Oleh karena itu, perlu adanya perbaikan dan optimalisasi dalam sistem distribusi

untuk memastikan keandalan dan ketersediaan listrik yang memadai di tengah dinamika perkembangan wilayah tersebut [16].

Penelitian sebelumnya menyebutkan salah satu cara memperbaiki nilai tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi adalah dengan integrasi IREGs seperti *photovoltaic* dan *wind turbine generators* dengan kapasitas daya pembangkit kecil yang tepat dan disesuaikan dengan potensi energi yang ada pada wilayah sekitar [17]. Wilayah Lamno dan Calang sendiri merupakan daerah pesisir dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 7,51 m/s dan iradiasi matahari sebesar 5,06 kWh/m²/hari, artinya wilayah Lamno ini memiliki potensi yang besar untuk pemanfaatan sistem fotovoltaik dan pembangkit turbin angin. Penelitian integrasi pembangkit teknologi angin yang terhubung dengan jaringan distribusi di bus GH Lamno dan GH Calang sudah pernah dilakukan. Hasil penelitian melihat pengaruh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi [18]. Dilihat dari potensi yang ada pemanfaatan sistem fotovoltaik juga sangat memungkinkan di wilayah ini. Oleh karenanya pada penelitian ini akan dilakukan simulasi integrasi sistem fotovoltaik, integrasi teknologi angin dan sistem gabungan (*hybrid*) ke jaringan distribusi serta analisa terkait pengaruhnya terhadap sistem.

Penetrasi IREGs ke dalam jaringan distribusi dapat menimbulkan deviasi tegangan, arus, dan frekuensi, serta berpotensi mempengaruhi rugi-rugi daya saluran, harmonisa sistem, dan kehandalan. Penelitian ini mengevaluasi dampak penetrasi sistem fotovoltaik dan pembangkit turbin angin terhadap harmonisa dan stabilitas sistem tenaga listrik. Kajian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi dan pengetahuan lebih lanjut mengenai distorsi harmonik tegangan, distorsi harmonik arus, dan stabilitas sistem yang terhubung dengan sistem distribusi 20 kV dari gardu induk (GI) Kota Meulaboh. Penetrasi IREGs melibatkan analisis keadaan tunak dan dinamis dari jaringan listrik. Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengevaluasi kinerja kondisi tunak jaringan listrik. Selanjutnya, analisis dinamik dilakukan dengan menerapkan hubung singkat tiga fase pada titik-titik kritis jaringan. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak program penganalisis transien listrik (*electrical transient analyzer program - ETAP*) versi 19.0.1.

1.2 Identifikasi Masalah

Permintaan beban yang terus meningkat menyebabkan daya listrik yang disuplai pembangkit lebih besar sedangkan kapasitas pasokan pembangkit sudah mulai terbatas [19]. Kurangnya kesadaran teknis dan studi akan dampak dari jaringan energi terbarukan yang relevan menghambat penggunaan integrasi dari sumber energi terbarukan sistem fotovoltaik dan energi angin dalam skala besar. Integrasi dari energi terbarukan telah berhasil di sebagian besar negara di mana studi dampak terhadap jaringan yang relevan dilakukan [20]. Selain itu, teridentifikasi bahwa bus GH Lamno dan GH Calang mengalami jatuh tegangan dari tegangan nominal dan menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya. Oleh karenanya, dilakukan studi dampak energi terbarukan sistem fotovoltaik dan pembangkit turbin angin dalam skala besar sebagai alternatif untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi di wilayah tersebut. Hasil studi ini bisa dijadikan pedoman dalam pengembangan sistem di masa yang akan datang.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya dapat dijabarkan rumusan masalah pada tesis ini yakni sebagai berikut:

- a. Bagaimana profil tegangan sistem sebelum penetrasi IREGs ke jaringan distribusi?
- b. Bagaimana model yang sesuai untuk mensimulasikan kinerja dan stabilitas sistem tenaga karena penetrasi IREGs pada jaringan distribusi?
- c. Bagaimana dampak penetrasi IREGs terhadap harmonisa dan stabilitas jaringan listrik distribusi?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis profil tegangan sistem sebelum penetrasi IREGs ke jaringan distribusi.
- b. Mendesain model yang sesuai untuk mensimulasikan kinerja dan stabilitas sistem tenaga karena penetrasi IREGs ke jaringan distribusi.

- c. Menganalisis dampak penetrasi IREGs terhadap harmonisa dan stabilitas jaringan listrik distribusi.

1.5 Batasan Masalah

Dari uraian permasalahan yang telah dijelaskan, penulis membuat pembatasan ruang lingkup pembahasan yaitu sebagai berikut :

- a. Penelitian ini fokus menilai dampak penetrasi sistem fotovoltaik dan pembangkit turbin angin terhadap harmonisa dan stabilitas jaringan listrik di tingkat distribusi.
- b. Data penelitian yang dipakai ialah data dari PT PLN Rayon Meulaboh Kota, pada Sistem distribusi 20 kV dari gardu induk (GI) Meulaboh.
- c. Penelitian ini menggunakan *software* ETAP 19.0.1

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Membantu memahami cara terbaik untuk meningkatkan kualitas keandalan pada sistem distribusi yang jauh dari pusat pembangkit.
- b. Membantu memahami bagaimana mengintegrasikan IREGs dengan efisien sehingga memberikan kontribusi signifikan untuk mitigasi perubahan iklim.
- c. Menjadi pedoman dan referensi tambahan bagi pemerintah dan PLN dalam mempromosikan dan mengintegrasikan IREGs ke dalam jaringan utama.
- d. Inisiatif ini akan menghasilkan peningkatan akses listrik dan mengurangi ketergantungan penggunaan listrik dari bahan bakar konvensional atau fosil yang terbatas.
- e. Manfaat praktis dari penelitian ini yaitu menambah koleksi bahan pustaka yang bermanfaat bagi Universitas Malikussaleh dan bagi mahasiswa Program Studi Teknik Elektro dan Teknik Energi Terbarukan.

1.7 Sistematika Penelitian

Laporan tesis ini ditulis dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan latar belakang yang berkaitan dengan integrasi IREGs. Pada bab ini secara singkat dibahas tantangan yang dihasilkan dari integrasi IREGs ke dalam jaringan serta memaparkan rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan laporan tesis.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas pustaka maupun teori terkait stabilitas daya dengan memberikan definisi yang diperlukan tentang stabilitas sistem tenaga dan penyebab utama stabilitas sistem tenaga. Selain itu, bab ini menjelaskan bagaimana sistem fotovoltaik dan teknologi pembangkit angin menghasilkan energi listrik dan persamaan mendasar yang mendasari kedua teknologi.

Bab III Metode Penelitian

Pada bab ini dibahas metode yang digunakan dalam penelitian serta penjelasan tahapan penelitian lebih mendasar yang berisi terkait identifikasi dan analisa penelitian. Kemudian membahas teknik yang akan digunakan berupa teknik pengumpulan dan pengolahan data, simulasi dan analisis data yang digunakan pada penelitian ini.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini memaparkan simulasi dan analisa dampak penetrasi pembangkit energi terbarukan intermiten terhadap harmonisa dan stabilitas sistem tenaga listrik pada jaringan distribusi. Selain itu, bab ini menjelaskan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan baik hasil teknik pengolahan data maupun hasil simulasi menggunakan software ETAP.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.