

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik konvensional mengandalkan pembangkit terpusat dan transmisi, distribusi untuk mendistribusikan daya listrik melalui transformator dan jaringan tinggi. Dalam sistem distribusi, terdapat transformator untuk menurunkan tegangan dari sisi primer dan sisi sekunder yang menyalurkan daya ke pengguna akhir secara satu arah. Namun, dengan pertumbuhan permintaan beban, perluasan saluran transmisi, dan kompleksitas operasional, timbul kendala ekonomi dan lingkungan dalam pengembangan atau peningkatan pembangkit listrik. Inovasi terkini menitik beratkan pada desain sistem energi terbarukan (DG) yang dapat mengintegrasikan dan memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan keandalan, keamanan, dan efisiensi, menjadikannya fokus utama dalam evolusi sistem kelistrikan.

Penggunaan sumber daya energi terbarukan terdistribusi (DG) mengalami peningkatan yang signifikan dalam sistem tenaga listrik dan didorong oleh manfaatnya secara lingkungan dan ekonomis. DG merupakan jenis sumber daya energi terdistribusi yang menggunakan sumber daya terbarukan, seperti Photovoltaic (PV), biomassa, dan turbin angin dan lainnya. Umumnya, DG terhubung ke sistem distribusi dan ditempatkan dalam sistem distribusi tenaga listrik melalui *interface* elektronik daya, serta *microgrid* yang mungkin mencakup sistem penyimpanan energi dan beban. Akibatnya, aliran daya dalam sistem DG dapat menghasilkan daya dan mengembalikannya ke grid. Integrasi DG ke dalam sistem distribusi tenaga listrik memberikan banyak manfaat, seperti mengurangi kerugian energi, mengurangi kepadatan transmisi, meningkatkan efisiensi sistem, memperbaiki kualitas listrik, meminimalkan beban puncak, menurunkan harga energi, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Namun, peningkatan penetrasi DG menimbulkan berbagai masalah operasional seperti suplai daya yang intermitten, stabilitas sistem, keamanan dan keandalan, koordinasi proteksi yang kompleks, dan masalah lainnya seperti aliran daya balik dan masalah *islanding* yang akan dibahas pada penelitian ini.

Islanding adalah situasi di mana sumber daya energi terdistribusi terus memberikan daya ke sebagian atau keseluruhan beban lokal melalui *Point of Common Coupling* (PCC) sementara bagian ini terputus secara listrik dari sistem besar atau *grid*. Dalam situasi *islanding*, bagian tersebut tetap beroperasi secara mandiri, bahkan ketika terputus dari jaringan listrik utama. Hal ini dapat terjadi ketika ada pembangkit listrik terdistribusi (seperti panel surya atau turbin angin) yang terhubung ke jaringan utama tetapi terisolasi secara listrik karena kegagalan interkoneksi atau gangguan pada jaringan. Kondisi ini harus secepatnya diketahui dengan cara pendeteksian kondisi *islanding*. Kegagalan mendeteksi *islanding* tidak hanya akan menimbulkan risiko terhadap sistem tenaga listrik, tetapi juga akan menimbulkan risiko terhadap pekerja listrik dan peralatan listrik. Menurut standar IEEE 1547-2018, sumber daya energi terbarukan DG harus mendeteksi *islanding* dan memutuskan daya dalam waktu kurang dari 2 detik setelah terjadinya *islanding* [1]. Standar IEEE 1547-2018 dalam literatur mengkategorikan *islanding* menjadi dua jenis yaitu *islanding* yang disengaja dan *islanding* yang tidak disengaja [2]. Dalam penelitian ini, hanya *islanding* yang tidak disengaja (tidak diinginkan) yang akan dibahas, karena dalam kasus *islanding* yang disengaja, langkah-langkah yang tepat biasanya diambil untuk menghindari masalah operasional apa pun.

Deteksi *islanding* adalah proses untuk mengidentifikasi dan memutuskan suplai daya ketika kondisi ini terjadi. Oleh karena itu, telah diusulkan berbagai metode untuk mendeteksi *islanding* secepat mungkin. Metode-metode ini dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama yaitu *remote methods* dan *local methods*. *Remote methods* terdiri dari *Power Line Signaling Scheme*, *Signal Produced by Disconnect*, *Transfer Trip Scheme* dan *Impedance Insertion Method*. *Local methods* dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu, *conventional* dan *modern method*. *Conventional methods* terdiri dari metode aktif, pasif dan hybrid. *Modern methods* terdiri dari *Signal Processing*, *Signal Estimation* dan *Artificial Intelligence methods*. Diantara metode-metode ini yang besar kemungkinan menghasilkan waktu untuk mendeteksi *islanding* kurang dari dua detik adalah metode aktif, pasif dan hybrid.

Metode aktif ini khususnya diterapkan pada inverter karena lebih mudah untuk menciptakan distorsi pada arus output melalui manipulasi arus masukan pada

rangkaian kendali. Selanjutnya, bentuk gelombang yang terdistorsi di terminal inverter diukur untuk menentukan apakah jaringan lokal tetap terhubung dengan jaringan utama atau telah masuk dalam mode *islanding*. Pendekatan deteksi *islanding* menggunakan metode aktif, memberikan tingkat akurasi yang tinggi dan respon yang cepat dalam mengidentifikasi *islanding*, sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh IEEE, tetapi memiliki zona yang tidak terdeteksi (*non-detection zone*/NDZ) yang sangat yang cukup luas, dibandingkan dengan pendekatan lain. Selain itu metode aktif memiliki beberapa kelemahan lain, yaitu perlunya perangkat mahal dan potensi penurunan daya ke jaringan akibat distorsi yang ditambahkan oleh inverter.

Guanhong Song, *et.al* (2022) menggunakan metode pasif untuk deteksi *islanding* didasarkan pada pengamatan dan analisis karakteristik jaringan listrik untuk mendeteksi perubahan yang signifikan [3]. Kondisi *islanding* terjadi ketika perubahan ini melewati ambang batas yang telah ditentukan. Dalam metode ini, deteksi *islanding* bisa bergantung pada satu atau lebih variable. Nilai ambang batas dapat ditentukan secara manual dengan mengidentifikasi variabel yang paling terpengaruh saat *islanding* terjadi. Penggunaan metode deteksi *islanding* pasif memiliki biaya yang rendah karena tidak memerlukan peralatan tambahan yang harus dipasang pada sistem daya. Namun, metode ini juga memiliki zona non-deteksi (NDZ) yang relatif lebih besar dibandingkan dengan dua metode deteksi *islanding* lainnya, dan waktu deteksi yang lebih lama.

Masoumeh Seyedi, *et.al* (2021) meneliti kondisi *islanding* menggunakan metode hybrid. Metode hybrid merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi kejadian *islanding* pada unit pembangkit listrik terdistribusi (DG) yang menggunakan inverter. *Islanding* terjadi ketika unit DG terus memasok daya walaupun pasokan listrik dari jaringan utama terputus, yang dapat mengakibatkan risiko keselamatan bagi operator utilitas yang terlibat dalam perbaikan atau pemeliharaan jaringan. Metode deteksi *islanding* hybrid menggabungkan metode pasif dan aktif [4]. Walaupun metode ini dapat mengurangi *non-detection zone* (NDZ) tetapi metode deteksi *islanding* hybrid memiliki kompleksitas yang lebih tinggi dalam implementasinya. Karena metode ini menggabungkan aspek-aspek

dari pendekatan deteksi *islanding* pasif dan aktif, hal ini dapat memerlukan konfigurasi dan tuning yang lebih rumit [5].

Kumaresh Pal, *et.al* (2024) memodelkan pendeteksian *islanding* berbasis *Artificial neural networks* (ANN). Penelitian ini menggunakan urutan komponen tegangan dan arus pada PCC dengan pendekatan komponen urutan negatif. Walaupun metode pada penelitian ini tidak memerlukan ekstraksi fitur yang dianggap sebagai langkah agar pendeteksian menjadi lebih cepat, namun waktu pendeteksian tidak dicantumkan pada penelitian ini. Selain itu waktu simulasi keseluruhannya adalah 13s dan akurasi deteksinya hanya 98,9% [6].

M. A. Aneesa Farhan, *et.al* (2022) melakukan penelitian dengan judul *Islanding Detection Using Empirical Mode Decomposition and Artificial Neural Network for Inverter Interfaced Distributed Generation*. Penelitian ini berbasis *neural network* dengan menunjukkan akurasi pendeteksian sebesar 98.1% dan tanpa NDZ. Pada penelitian ini tidak ada informasi mengenai waktu pendeteksian, apakah kurang dari 2 detik lebih dari 2 detik dan tentunya tidak memenuhi standar IEEE. [7]

Thanapong Thanasarn, *et.al* (2013) membandingkan *backpropagation neural network* (BP-NN) dengan *Learning Vector Quantization Neural Network* (LVQ-NN) untuk mengklasifikasikan pola *Fly Height Failure* pada proses manufaktur HDD. Hasil yang diperoleh dilaporkan bahwa akurasi LVQ-NN 90.7%, sementara BP-NN 81.8% [8].

Novizon, *et.al* (2016) membandingkan antara *Feed-Forward Back-Propagation* (FFBP-NN), *Radial Basis Function* (RBF-NN), dan *Learning Vector Quantization Neural Network* (LVQ-NN) untuk mengklasifikasikan gangguan pada *gapless arrester* menggunakan 600 data sampel. Hasil menunjukkan akurasi FFBP-NN 70.9%, RBF-NN 87.7% dan LVQ-NN 100%. Dengan kata lain, LVQ-NN menghasilkan akurasi dengan kecepatan yang tinggi [9].

Dari beberapa jurnal yang telah di *review*, diketahui bahwa metode deteksi *islanding* yang telah digunakan selama ini cukup efektif untuk mendeteksi terjadinya *islanding*, tetapi metode-metode tersebut masih memiliki banyak kekurangan, seperti perangkat mahal, potensi penurunan daya, NDZ yang relatif

lebih besar, waktu deteksi yang lebih lama dan kompleksitas yang lebih tinggi. Proposal ini mengusulkan metode *Artificial Neural Network* (ANN) untuk mendeteksi kondisi *islanding* yang mampu mengatasi zona *non-detection* (NDZ) dan dapat mendeteksi *islanding* kurang dari dua detik tanpa mempengaruhi daya. DG yang diaplikasikan pada penelitian ini adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

ANN yang digunakan adalah *Learning Vector Quantization* (LVQ-NN) yang merupakan salah satu metode populer dalam ANN untuk pengklasifikasian. *Learning Vector Quantization* (LVQ-NN) adalah suatu teknik pelatihan jenis *supervised* yang membantu jaringan neural atau model komputasi lainnya untuk mengenali pola dan mengklasifikasikan data [10]. Jaringan ini dilatih dengan fitur-fitur yang berisi contoh kondisi *islanding* dan gangguan sistem, dan outputnya memberikan prediksi apakah kondisi *islanding* terjadi atau kondisi gangguan sistem. Fitur-fitur yang berkaitan dengan kondisi *islanding* diekstrak dari gelombang tegangan ketika terjadi *islanding* dan gangguan sistem. Fitur-fitur dari gelombang tegangan ketika *islanding* terjadi, diekstraksi menggunakan metode transformasi *wavelet* diskrit (DWT). *Entropy detail 1*, *Entropy detail 2*, *Entropy detail 3*, *Entropy detail 4*, *Entropy detail 5* dan total harmonik distorsi (THD) adalah fitur-fitur yang diekstrak [11, 12]. Fitur-fitur ini selanjutnya menjadi input untuk LVQ-NN dengan outputnya berupa kondisi gangguan sistem atau *islanding*.

1.2 Rumusan Masalah

Seiring dengan peningkatan DG seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dalam sistem kelistrikan, maka masalah *islanding* telah dianalisis dan dipelajari lebih lanjut dalam banyak jurnal dan penelitian untuk menemukan solusi praktis dan efisien yang mampu mendeteksi terjadinya *islanding*. Umumnya, sumber daya PLTS diintegrasikan dengan grid melalui inverter berbasis elektronika daya. Inverter DC/AC menghasilkan gelombang yang terdistorsi dan menyuplai arus harmonisa ke grid, yang menyebabkan masalah kualitas daya menjadi buruk. DG juga memiliki karakteristik fluktuatif yang juga menyebabkan masalah kualitas daya, seperti variasi tegangan, variasi frekuensi, transien, dan distorsi harmonisa yang memengaruhi kinerja deteksi *islanding*.

Beberapa metode pasif seperti pengukuran lokal, pengolahan sinyal, dan *machine learning* telah digunakan dalam penelitian sebelumnya, sementara metode lain menggunakan metode aktif dan metode *remote*. Namun, metode deteksi *islanding* yang aktif dan *remote* memiliki kekurangan yang berhubungan dengan kualitas daya yang buruk dan masalah biaya tinggi seperti yang dijelaskan pada pendahuluan sebelumnya. Untuk itu, diperlukan penemuan teknik yang hemat biaya dengan tetap menjaga tingkat kualitas daya yang tinggi. Selain itu, teknik tersebut juga harus mampu menganalisa data yang diukur dari DG.

Teknik *Discrete Wavelet Transform* (DWT) diusulkan dalam penelitian ini untuk mengekstrak koefisien waktu-frekuensi dari pengukuran lokal PLTS yang sulit dideteksi dalam kondisi *islanding* dan meneruskan koefisien tersebut ke *LVQ-NN*. *LVQ-NN* dianggap sebagai salah satu alat pembelajaran mendalam yang mumpuni yang terdiri dari *hidden layer* yang dalam dan dapat mempelajari fitur-fitur serta mengklasifikasikannya dengan akurasi tinggi dan waktu deteksi yang cepat.

Rumusan masalah dalam proposal ini adalah sejauh mana *LVQ-NN* dapat mengatasi permasalahan pendeteksian kondisi *islanding* pada semua zona beban dan mampu membedakan antara kondisi *islanding* dengan gangguan sistem 1 fasa tanah, 2 fasa dan 2 fasa tanah dalam waktu kurang dari dua detik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tesis ini antara lain adalah mengolah data sinyal tegangan yang terukur pada *Point of Common Coupling* (PCC) menggunakan metode transformasi *wavelet* dan pengklasifikasian serta penentuan waktu deteksi *islanding* menggunakan *LVQ-NN*. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah berupa pendeteksian dan pengklasifikasian apakah tergolong *islanding* atau gangguan sistem dan waktu pendeteksiannya. Secara detail tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memodelkan dan mensimulasikan gangguan sistem dan *islanding* pada sistem PLTS terhubung ke grid.
2. Mengukur gelombang gangguan sistem dan *islanding* kemudian mengekstraksi fitur-fitur yang diperlukan dari gelombang tersebut sebagai dataset input *LVQ-NN*.

3. Merancang dan mengembangkan model *LVQ-NN* yang mampu mendeteksi dan membedakan antara kondisi *islanding* dengan gangguan sistem.
4. Melatih model *LVQ-NN* menggunakan dataset yang mencakup kondisi *islanding* dan gangguan sistem.
5. Menganalisa kinerja model dengan menggunakan dataset evaluasi yang independen untuk mengukur tingkat akurasi dan penentuan waktu pendeteksian kondisi *islanding*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan yang diterapkan pada penelitian ini untuk mempersempit fokus dan memberikan kerangka kerja yang jelas adalah sebagai berikut:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terhubung ke sistem distribusi radial 20 kV.
2. Intensitas cahaya matahari untuk sel surya dianggap konstan 1.000 W/m^2
3. Beban Grid diasumsikan tetap.
4. Penelitian ini hanya mendeteksi terjadinya kondisi *islanding* dalam waktu kurang dari dua detik, dengan kata lain tidak membahas anti *islanding*.
5. Gangguan sistem yang disimulasikan adalah gangguan 1 fasa tanah, 2 fasa dan 2 fasa tanah.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Meningkatkan keandalan sistem. Dengan pendeteksian yang lebih cepat dan efisien, risiko gangguan akibat *islanding* dapat diminimalkan, yang pada gilirannya meningkatkan keandalan sistem kelistrikan.
2. Mengurangi dampak negatif. Dengan deteksi yang lebih tepat waktu, gangguan terhadap peralatan listrik dan risiko keselamatan bagi pekerja utilitas dapat dikurangi, mengurangi potensi kerugian ekonomi dan dampak negatif lainnya.
3. Meningkatkan efisiensi operasional. Dengan pendeteksian yang cepat dan akurat, waktu yang diperlukan untuk menanggapi dan mengatasi *islanding* dapat diminimalkan, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi gangguan pada penyedia layanan listrik dan pelanggan.

1.6 Kontribusi Penelitian

Kontribusi penelitian dalam deteksi *islanding* pada pembangkit listrik tenaga surya tidak hanya akan meningkatkan kemampuan sistem untuk mendeteksi dan mengatasi keadaan yang berpotensi berbahaya, tetapi juga akan memperkuat kehandalan dan efisiensi infrastruktur tenaga listrik yang semakin canggih dan terhubung serta dapat mengembangkan algoritma cerdas yang mampu mendeteksi keadaan *islanding* secara cepat dan akurat.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika yang digunakan dalam Penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, maksud dan tujuan, perumusan masalah, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang teori-teori dasar yang mendukung dalam pembuatan tesis ini diantaranya Photovoltaik, transformasi *wavelet*, *islanding*, ANN, dll.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang simulasi yang akan dibuat untuk penelitian ini, meliputi garis besar algoritma *LVQ neural network*, model rangkaian simulasi dan metode pengolahan data serta jadwal penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini menampilkan hasil dari simulasi penelitian dan analisa dari hasil simulasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyimpulkan hasil dari penelitian dan saran untuk penelitian selanjut