

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut (A. Robi, 2023) Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu unit pembangkitan, saluran transmisi dan saluran distribusi serta konsumen atau pemanfaat tenaga listrik baik tegangan menengah maupun tegangan rendah. Sistem yang terintegrasi ini untuk memberikan layanan listrik kepada konsumen (beban) dengan memperhatikan keseimbangan antara penyediaan pasokan listrik (*supply*) dan permintaan listrik (*demand*). Keseimbangan daya ini merupakan salah satu ukuran kestabilan operasi sistem tenaga listrik. Beban listrik selalu berubah setiap saat sehingga unit pembangkitan harus selalu menyesuaikan suplai energi sesuai kebutuhan konsumen.

Sistem tenaga listrik yang berkembang pesat menyebabkan permasalahan stabilitas pada sistem kelistrikan itu sendiri menjadi salah satu hal yang sangat penting untuk menjaga kontinuitas aliran daya serta keandalan operasi dari sistem tenaga listrik. Pada sistem kelistrikan yang memiliki lebih dari dua generator yang bekerja secara bersamaan atau terhubung interkoneksi memungkinkan terjadinya kerugian besar jika kontinuitas daya tidak stabil (Anwar, 2017). Faktor yang menyebabkan kerugian tersebut bisa terjadi ketika adanya ketidakseimbangan antara beban dan pembangkitan tidak terbagi secara proporsional, maka salah satu generator dapat bekerja terlalu berat sehingga menyebabkan penurunan efisiensi sistem serta potensi kerusakan pada generator akibat terbebani lebih berat.

kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem untuk kembali ke kondisi operasi normal apabila terjadi gangguan, lalu yang menganalisis apakah suatu sistem tersebut stabil setelah terjadi gangguan dikenal dengan sebutan analisis stabilitas sistem tenaga listrik (Yolnasdi et al., 2021). Salah satu aspek stabilitas sistem tenaga listrik adalah stabilitas transien. Stabilitas transien berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi ketika mengalami gangguan parah, seperti hubung singkat atau perubahan besar yang tiba-tiba pada beban listrik atau pembangkit listrik (Hasta Wibowo et al., 2023). Jika gangguan yang terjadi bernilai besar dan terjadi secara tiba-tiba dan dalam waktu cepat maka masalah kestabilan transien dalam suatu sistem kelistrikan harus diperhatikan (Khundur, 1994).

Generator yang lepas dari sistem sering disebut sebagai kontingensi tunggal (N-1). Kontingensi tunggal (N-1) adalah salah satu komponen tenaga listrik baik saluran transmisi atau transformator atau generator dilepaskan yang

kemungkinan direncanakan untuk perbaikan, penjadwalan operasi pemeliharaan rutin, maupun terpaksa karena kondisi cuaca atau karena gangguan (Ekoriskiyanto et al, 2019). Kontingensi tunggal (N-1) menyebabkan terjadinya perubahan parameter dalam sistem seperti naik atau turunnya tegangan yang diluar batas standar dan pembebanan lebih pada saluran (Taufik B et al, 2023). Perubahan parameter pada sistem ini yang menyebabkan efek transien terjadi lalu beresilasi sebelum kembali ke kondisi *steady state*, sehingga kestabilan sistem akan terpengaruh. Jika hal ini berlangsung dalam waktu lama dan diluar batas standar, hal ini berisiko menyebabkan gangguan yang lebih besar, seperti terbukanya *circuit breaker* secara bertahap karena koordinasi proteksi sebagai bentuk proteksi sistem terhadap gangguan yang berkelanjutan yang akan menyebabkan terjadi pemadaman total (*blackout*) sehingga pemulihan membutuhkan waktu lama dan biaya yang besar.

PetroChina International Ltd merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi di Indonesia yang bekerja sama dengan SKK-Migas dan investor asing (*China National Petroleum Corporation*). PetroChina International Ltd memiliki wilayah operasi meliputi Kepala Burung Irian Jaya, Tuban Jawa Timur, dan Jambi. PetroChina International jabung pada wilayah Jambi memiliki daerah operasi di blok Jabung yang terdiri dari *North Jabung* dan *South Jabung*. Hasil kegiatan survey seismik, geologi, dan geofisik di wilayah Blok Jabung yang dilakukan pada tahun 1995 hingga awal tahun 1996 menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki kandungan minyak dan gas bumi yang cukup banyak. Oleh karena itu didirikanlah pabrik di tempat tersebut untuk mengolah minyak dan gas bumi yang ada. Adanya pembangunan pabrik ini diharapkan dapat membuka lapangan pekerjaan untuk masyarakat sekitar.

North Geragai Field (NGF) PetroChina International Jabung Ltd yang berlokasi di Kecamatan Geragai Kabupaten Tanjung Jabung Timur adalah *plant oil and gas* dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) 2 x 4,5 MW yang sinkron keduanya untuk menyuplai kebutuhan daya listrik sebesar 3,342 MW (37% dari total daya yang dibangkitkan). Tetapi, pada 20 Mei 2025 sistem sinkronisasi tersebut dilepas dan hanya 1 pembangkit listrik yang aktif untuk menyuplai seluruh kebutuhan daya listrik sebesar 3,342 MW tersebut. Jadi, pembangkit listrik 1 x 4,5 MW harus menyuplai daya listrik sebesar 76% dari total daya yang dibangkitkan. Kondisi ini yang menyebabkan sistem kelistrikan di *North Geragai Field* (NGF) menjadi rawan terhadap gangguan besar atau kondisi kritis yang akan mengakibatkan generator tersebut lepas dari sistem. Maka dari itu penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan bagaimana

kekuatan sebuah sistem ketika terjadi gangguan seperti pengurangan beban besar secara tiba-tiba dengan cara N-1 transformator. Sistem yang dibangun dengan baik dapat meminimalkan laju kenaikan frekuensi akibat beban besar lepas yang terjadi. Laju kenaikan dapat dilihat pada saat frekuensi mulai naik dan berhenti naik (*peak frequency*) dalam satuan waktu. Besarnya pengurangan beban yang terjadi ketika frekuensi naik merupakan Indeks Kekuatan Sistem. Dengan kata lain dalam penelitian ini Indeks Kekuatan Sistem adalah besarnya beban yang hilang dalam MW/Hz.

Sistem kelistrikan pada umumnya tidak luput dari seringnya terjadi gangguan, gangguan yang tidak diatasi dengan cepat berpotensi menyebabkan kehilangan sinkronisasi generator dari sistem, yang berujung pada pemisahan generator dari sistem sehingga kemungkinan terburuknya akan terjadi *blackout* dan semua peralatan yang membutuhkan energi listrik akan terhenti. Ketika keadaan tersebut terjadi, maka perusahaan akan mengalami kerugian besar dan untuk mengaktifkan kembali pembangkit listrik membutuhkan waktu yang lama. Dalam kondisi ini, analisis stabilitas transien menjadi penting untuk memahami respon sistem terhadap gangguan transien pada sistem kelistrikan dan memastikan keandalannya. Maka perlu dilakukan analisis stabilitas transien dengan menggunakan perangkat lunak DigSILENT *PowerFactory* 2021 untuk melakukan pengujian terhadap berbagai skenario N-1 transformator, dengan menganalisa aliran daya dan melihat respon frekuensi dan tegangan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan **"STUDI ANALISIS STABILITAS TRANSIEN FREKUENSI DAN TEGANGAN BERDASARKAN DISTURBANCE SIGNAL ENERGY (DSE) PADA SISTEM TENAGA LISTRIK PETROCHINA INTERNATIONAL JABUNG LTD"**. Sehingga analisis ini dapat memberikan wawasan dalam mengidentifikasi potensi masalah serta merumuskan solusi teknis untuk menjaga stabilitas sistem kelistrikan di PetroChina International Jabung Ltd.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana stabilitas transien pada sistem tenaga listrik PetroChina International Jabung Ltd berdasarkan *Disturbance Signal Energy* (DSE)?
2. Bagaimana menentukan besar Indeks Kekuatan Sistem (IKS) dan Performansi Indeks Tegangan (PIV) sistem tenaga listrik PetroChina International Jabung Ltd setelah terjadi N-1 transformator?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian dan mempermudah pelaksanaan analisis, penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Analisis stabilitas transien pada sistem tenaga listrik PetroChina International Jabung Ltd hanya melihat respon perubahan frekuensi dan tegangan pada sistem berdasarkan *Disturbance Signal Energy* (DSE).
2. Respon frekuensi hanya dianalisa berdasarkan Indeks Kekuatan Sistem (IKS) dengan menggunakan metode regresi linear dan respon tegangan dianalisa dengan menggunakan metode Performansi Indeks Tegangan (PIv).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa respon perubahan frekuensi dan tegangan pada sistem tenaga listrik PetroChina International Jabung Ltd terhadap gangguan transien N-1 transformator.
2. Menentukan besar Indeks Kekuatan Sistem (IKS) dan menentukan kondisi kritis sistem tenaga listrik PetroChina International Jabung Ltd setelah terjadi gangguan berasarkan Performansi Indeks Tegangan (PIv).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menambah wawasan dan pemahaman terkait stabilitas transien dalam sistem tenaga listrik, khususnya pada sistem tenaga listrik PetroChina International Jabung Ltd. Penelitian ini juga berpotensi menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dalam analisis stabilitas sistem tenaga listrik.
2. Memberikan informasi yang dapat digunakan oleh PetroChina International Jabung Ltd dan pemangku kepentingan lainnya dalam pengembangan kebijakan serta perencanaan penguatan infrastruktur kelistrikan PetroChina International Jabung Ltd.