

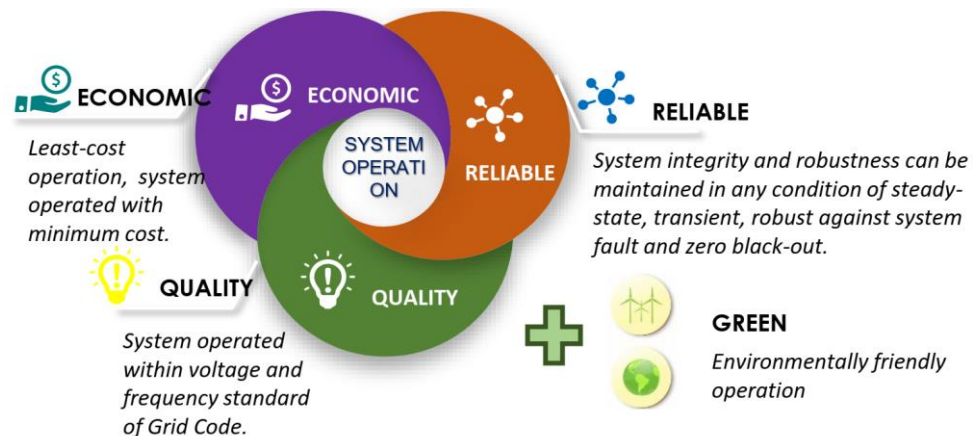
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

1.1.1. Aspek Operasi Sistem Ketenagalistrikan

Penyediaan tenaga listrik di Indonesia dikelola oleh PT PLN (Persero) sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bertanggung jawab atas kontinuitas pasokan energi listrik. Dalam pengoperasian sistem ketenagalistrikan, PLN memastikan bahwa energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dapat disalurkan secara berkesinambungan ke jaringan distribusi untuk memenuhi kebutuhan konsumen, baik rumah tangga maupun industri. Pengoperasian sistem ketenagalistrikan mengikuti prinsip dasar operasi sistem yang mencakup efisiensi biaya, mutu, keandalan, serta kepedulian terhadap kelestarian lingkungan, seperti bisa dilihat di Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Prinsip Dasar Pengoperasian Sistem

Mutu dan keandalan sistem diukur melalui parameter frekuensi, tegangan, serta jumlah gangguan yang terjadi. Untuk mencapai hal tersebut, Pusat Pengatur Beban (*Load Dispatch Center*) dituntut melakukan kompromi dan optimasi antara pemeliharaan kualitas tenaga listrik dan pencapaian biaya operasional yang minimal. Strategi ini menjadi kunci dalam menjaga stabilitas sistem ketenagalistrikan nasional sekaligus memenuhi standar pelayanan yang ditetapkan [1].

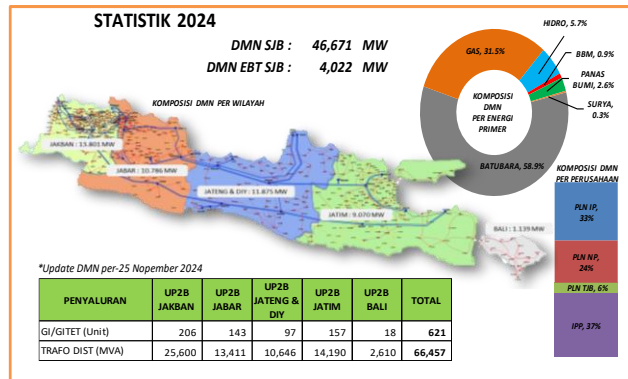
1.1.2. Aspek Teknis Sistem Ketenagalistrikan

Berkenaan dengan tugas tersebut dan seiring meningkatnya tuntutan akan keandalan serta kualitas pelayanan, diperlukan upaya pembenahan melalui langkah-langkah strategis untuk mewujudkan ketersediaan energi listrik yang andal dan berkualitas. Upaya tersebut antara lain dilakukan dengan:

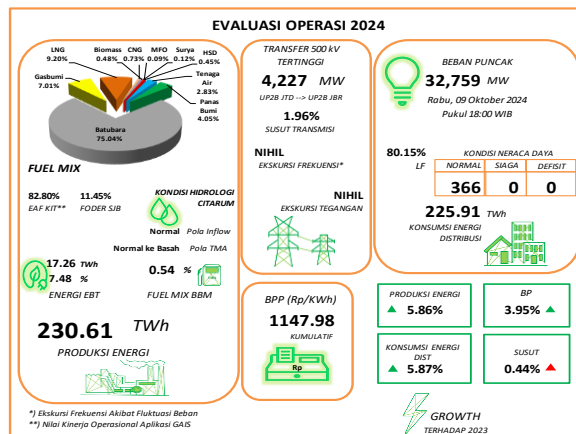
1. Menerapkan kriteria n-1 untuk keandalan pasokan dan kriteria n-2 untuk stability
2. Meningkatkan kehandalan dengan pemasangan *Defense Scheme*
3. Menjaga kualitas terutama kesetabilan frekuensi dengan menambah jumlah pembangkit yang aktif dalam implementasi *Free Governor, Load Frequency Control* (LFC) dan *Automatic Generation Control* (AGC)
4. Melakukan batasan operasi yang ditetapkan untuk menjamin keamanan peralatan transmisi.

Oleh karena itu, penguatan keandalan dan kestabilan sistem melalui pembenahan langkah-langkah strategis menjadi hal yang sangat penting untuk mencegah terulangnya gangguan sistem berskala besar, seperti peristiwa *partial blackout* pada sistem ketenagalistrikan Jawa–Madura–Bali tanggal 4 Agustus 2019 [3]. Kejadian tersebut diawali oleh gangguan pada SUTET 500 kV Ungaran–Pemalang akibat tidak terpenuhinya jarak aman ruang bebas (*right of way*) sehingga terjadi kontak atau kedekatan vegetasi pohon sengon dengan konduktor transmisi, yang memicu gangguan hubung singkat dan trip saluran. Setelah saluran pertama lepas, redistribusi aliran daya menyebabkan saluran lainnya mengalami *overload* dan ketidakstabilan selanjutnya ikut trip, sehingga kemampuan transfer daya dari wilayah timur ke wilayah barat Sistem Jawa–Madura–Bali menurun secara signifikan. Kondisi ini memicu ketidakseimbangan daya aktif yang besar dan mendadak, menyebabkan penurunan frekuensi serta gangguan kestabilan sudut rotor yang diperparah oleh terjadinya pemisahan sistem (*system separation*). Akibatnya, frekuensi di beberapa area turun melewati batas operasi aman, sehingga *Defense Scheme* seperti *Load Shedding* dan proteksi pembangkit bekerja, namun tetap berkembang menjadi *partial blackout* meluas. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa kegagalan elemen transmisi kritis pada sistem interkoneksi besar, baik dalam skenario kontingensi n-1 maupun n-2, dapat memicu gangguan kestabilan sistem secara dinamis, bukan karena keterbatasan kapasitas pembangkitan, melainkan

akibat ketidakmampuan sistem mempertahankan keseimbangan daya dan kestabilan operasi pascagangguan.



(a) Statistik Operasi Sistem



(b) Evaluasi Operasi

Gambar 1. 2 Evaluasi Operasi Sistem Jawa Bali Th 2024 [2]

1.1.3. Aspek Ekonomi Sistem Ketenagalistrikan

Salah satu parameter penting dalam pengoperasian sistem ketenagalistrikan adalah aspek ekonomi, yang berkaitan dengan upaya menekan Biaya Pokok Penyediaan (BPP). Berdasarkan data evaluasi operasi tahun 2024 pada Gambatr 1.2, BPP sistem Jawa–Madura-Bali tercatat sebesar Rp1.147,98/kWh, dengan komposisi bahan bakar (*fuel mix*) terbesar berasal dari batubara, yaitu 75,04% [2].

Komponen terbesar dalam BPP adalah Komponen C, yang merepresentasikan biaya bahan bakar (*Fuel Cost*). Salah satu metode yang paling sederhana dan efektif untuk

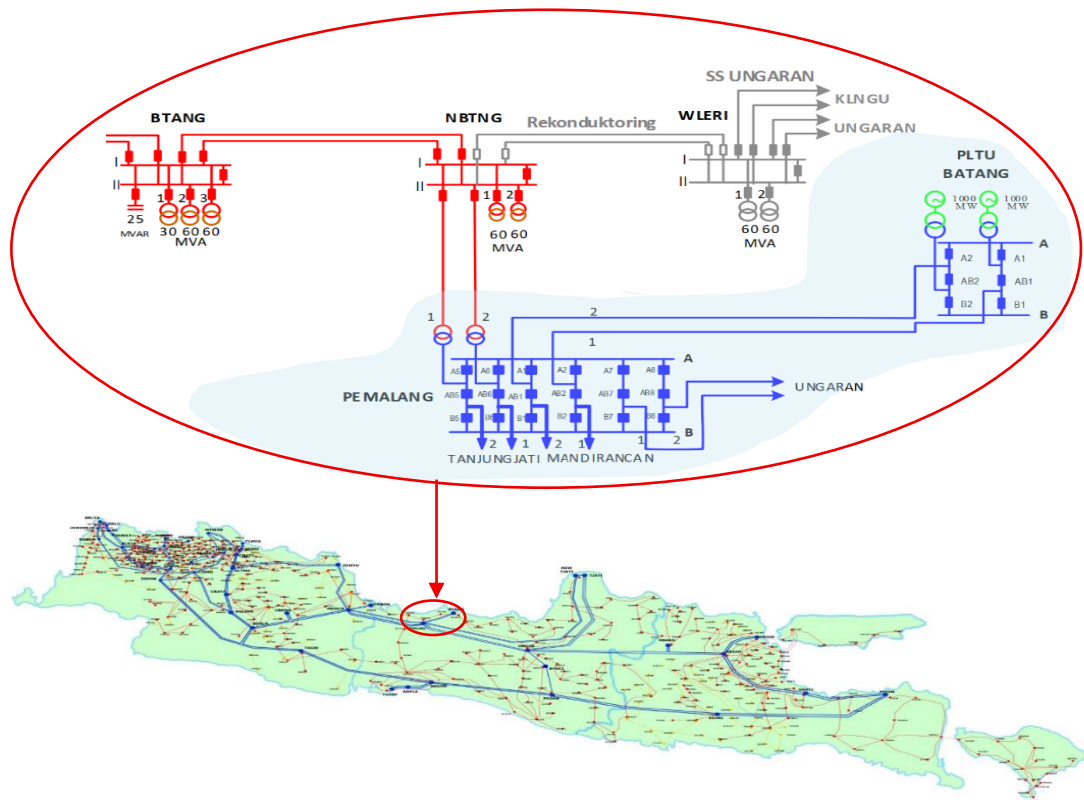
mengoptimalkan BPP tenaga listrik adalah penerapan sistem *Merit Order*. Metode ini mengatur prioritas pengoperasian pembangkit berdasarkan biaya produksi, di mana pembangkit dengan biaya paling rendah dioperasikan terlebih dahulu hingga kebutuhan beban listrik terpenuhi [4]. Strategi operasi yang diterapkan untuk mengoptimalkan BPP melalui metode *merit order* sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan pengoperasian pembangkit tenaga air (*hidro*) sebagai sumber energi dengan biaya rendah.
2. Mengoptimalkan pengoperasian pembangkit berbahan bakar batubara dan gas untuk meminimalkan penggunaan bahan bakar minyak (BBM) yang memiliki biaya tinggi.

1.1.4. Kondisi Sistem Ketenagalistrikan di Jawa Tengah

Pada skala regional di tahun 2024, sistem ketenagalistrikan di wilayah Jawa Tengah memiliki cadangan operasi sebesar 3.011 MW dengan kapasitas daya mampu pasok sebesar 7.862 MW. Seiring berjalannya waktu, kapasitas ini akan mulai terserap oleh pertumbuhan alami (*natural growth*) dari sektor pemakaian rumah tangga dan perkantoran yang akan tumbuh sekitar 2%. Selain itu hadirnya kawasan-kawasan industri baru di Jawa Tengah seperti di Kabupaten Batang dan Kabupaten Kendal yang akan menyerap cukup banyak daya dan diperkirakan akan membutuhkan daya listrik dalam jumlah besar, dengan estimasi pertumbuhan konsumsi energi mencapai 3% - 4%. Untuk mengantisipasi pertumbuhan konsumsi industri di sektor industri ini, diperlukan cadangan energi yang mencukupi serta jaminan pasokan listrik yang handal dan berkualitas bagi konsumen.

Sistem Jawa Bali didukung oleh sejumlah pembangkit berkapasitas besar, salah satunya adalah PLTU Batang di Propinsi Jawa Tengah berkapasitas 2x 1000 MW. PLTU Batang merupakan pembangkit berjenis *Ultra Super Crytical* (USC) yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar yang relatif murah. Oleh karena itu pembangkit ini sebaiknya dioptimalkan dalam hal pembebanannya, terutama jika dibandingkan dengan pembangkit yang menggunakan BBM atau gas. Apabila pembebanan pembangkit PLTU Batang dapat ditingkatkan mendekati nominalnya secara optimal, maka kontribusi pembangkit berbahan bakar, BBM dan Gas dalam bauran energy (*Fuel mix*) dapat dikurangi.



Gambar 1. 3 PLTU Batang dan SUTET Batang-Pemalang Dalam Sistem Jamali

Outlet PLTU Batang masuk ke interkoneksi sistem 500kV melalui GITET Pemalang yang mengandalkan 2 sirkuit SUTET berkapasitas masing-masing 3600 A. Saat ini pengoperasian 2 unit PLTU Batang tidak bisa dibebani maksimum karena keterbatasan kemampuan kapasitas penghantar dan konfigurasi PLTU Batang yang masih radial. Apabila dalam kondisi seperti sekarang PLTU Batang dipaksakan untuk dibebani maksimum pada 2 Unit , akan sangat beresiko sebab bila terjadi kontingensi n-2 atau 2 unit pembangkit trip akan menyebabkan penurunan frekuensi sistem Jawa-Bali di bawah batas bawah/nadir frekuensi. Mengacu pada ketentuan dalam Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik/ Grid Code OC 3.1 [5], nilai dari batas frekuensi nadir yang sesuai dengan aturan jaringan di Indonesia adalah sebesar 49,5 Hz selama keadaan darurat dan rentang waktu yang singkat. Kebijakan operasional melakukan mitigasi agar sistem tidak menyentuh nilai $< 49\text{Hz}$ agar tidak sempat Rele UFR dan *Island Operation* bekerja.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Bagaimana melakukan mitigasi kontingensi n-2 SUTET Batang-Pemalang terhadap keterbatasan outlet PLTU Batang?
- b. Bagaimana merancang *Defense Scheme* n-2 SUTET Batang-Pemalang agar bisa menjaga batas aman frekuensi sistem $> 49\text{Hz}$?
- c. Bagaimana dampak ekonomi dan kelayakan finansial implementasi *Defense Scheme* n-2 SUTET Batang-Pemalang terhadap Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Energi Listrik?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan analisis mitigasi kontingensi n-2 SUTET Batang-Pemalang melalui pembatasan operasi dan implementasi defense scheme.
- b. Merancang Defense Scheme n-2 SUTET Batang-Pemalang untuk menjaga kehandalan sistem sekaligus mengoptimalkan pengoperasian PLTU Batang.
- c. Mengevaluasi dampak ekonomi serta kelayakan finansial implementasi *Defense Scheme* n-2 SUTET Batang-Pemalang terhadap Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Energi Listrik.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Bagi Peneliti: Menambah pengetahuan dan wawasan tentang proteksi sistem ketenagalistrikan dan bisa merancang skema kontingensi *Defense Scheme*.
- b. Bagi ITPLN: Menambah khasanah ilmu pengetahuan dan sebagai sumber referensi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.
- c. Bagi Perusahaan: Mendukung perusahaan dalam meningkatkan kehandalan dan keekonomian perusahaan dengan merancang *Defense Scheme* yang akan diimplementasikan di site.
- d. Bagi Masyarakat: Meningkatkan mutu pelayanan kepada masyarakat untuk mendapat listrik yang handal, berkualitas dan ekonomis.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Agar penelitian lebih terarah maka ditentukan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- a. Lokasi penelitian di PT PLN (Persero) UIP2B Jawa, Madura dan Bali yang mengelola pengoperasian Sistem Ketenagalistrikan di Jawa, Madura dan Bali.
- b. Obyek penelitian adalah PLTU Batang berikut SUTET Pemalang-Batang yang merupakan Saluran Evakuasi Daya dari Pembangkit PLTU Batang untuk masuk ke dalam jalur *backbone* 500 kV sistem ketenagalistrikan Jawa, Madura dan Bali
- c. Kontingensi dibuat dengan beberapa kondisi yaitu:
 - tanpa batasan operasi maupun *Defense Scheme*.
 - dengan batasan operasi.
 - dengan *Defense Scheme*.
- d. Pengujian rancangan kontingensi dan konfigurasi koordinasi waktu dan kuota target OLS menggunakan Software DIGSILENT
- e. Perhitungan biaya keekonomian produksi pembangkitan PLTU yang murah dibandingkan dengan kompensasi penggunaan pembangkit minyak atau gas yang lebih mahal bila terjadi gagal memenuhi kontingensi n-2

1.6 Kebaharuan

Penelitian terkait analisis tekno ekonomi implementasi skema *Defense Scheme* n-2 SUTET Batang- Pemalang belum pernah dilakukan sebelumnya. Saat ini Unit PLTU Batang masih memberlakukan batasan operasi untuk memenuhi kontingensi n-2 sehingga pengoperasiannya belum bisa optimal sesuai dengan daya nominal pembangkit tersebut.

1.7 Hipotesis

Dari *study literatur* dan kajian awal dari wawancara dengan Tim Operasi Sistem UIP2B, bisa diambil Hipotesis sebagai berikut:

- a. Penggunaan skema *Defense Scheme* untuk mengoptimalkan pengoperasian pembangkit dan sekaligus menjamin kehandalan, karena saat ini PLTU Batang adalah jalur radial dengan 2 sirkit. Bila 2 sirkit trip/lepas, maka frekuensi sistem akan menuju frekuensi 49 Hz yang menyebabkan padam meluas di seluruh

wilayah jawa bali dengan estimasi Indeks Kekuatan Sistem (IKS) Sistem Jawa-Madura-Bali di Evaluasi Operasi Tahunan (EOT) 2024 sebesar 1480 MW/Hz.

- b. Dengan dipasang sensor status PMT dan pengukuran Daya (MW) di 2 sirkit SUTET Pemalang-Batang dan dengan pemilihan pelepasan beban dan kordinasi waktu yang tepat, kejadian penurunan frekuensi sampai 49 Hz bisa dicegah.
- c. Pada kondisi normal pembebanan pembangkit Batang bisa dioptimalkan lebih besar supaya pengoperasian PLTU bisa lebih tinggi dan lebih ekonomis dalam BPP.