

Evaluasi Operasi PLTD Kamanggih Pasca-Interkoneksi pada Sistem Waingapu

Eri Prabowo¹, Trassanda Scudetto Widestomo Putra², Abdal Ghofar³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia

Email: eriprabowo@itpln.ac.id, Trassanda2410505@ITPLN.AC.ID, Ghofarpsht@gmail.com

Abstract

This study evaluates the operational effect of connecting PLTD Kamanggih to the Waingapu system through a 20 kV interconnection network. The study used operational, production, fuel, lubricant, cost, and system-capacity data from January 2023 to June 2024. The main indicators were Specific Fuel Consumption (SFC), Specific Lubricant Consumption (SLC), and Cost of Electricity Production (BPP). Before interconnection, PLTD Kamanggih had higher SFC, SLC, and BPP than PLTD Waingapu, namely 0.41661 liter/kWh, 0.00401 liter/kWh, and 5,785.48 Rp/kWh, while PLTD Waingapu recorded 0.27945 liter/kWh, 0.00012 liter/kWh, and 3,160.71 Rp/kWh. After the interconnection, Kamanggih's 0.114 MW load was supplied by the Waingapu system, which still had sufficient available capacity. The best comparison occurred between the second quarter of 2023 and the second quarter of 2024, where SFC decreased by 0.00729 liter/kWh or 2.59%, SLC decreased by 0.00012 liter/kWh or 73.94%, and BPP decreased by 87.57 Rp/kWh or 2.63%. The result indicates that 20 kV interconnection is effective as a dedieselization strategy to improve operational efficiency, reduce isolated diesel operation, and lower electricity production cost.

Keywords: interconnection; PLTD; SFC; SLC; BPP

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh operasional interkoneksi PLTD Kamanggih ke Sistem Waingapu melalui jaringan 20 kV. Data yang digunakan meliputi data operasi, produksi energi, konsumsi BBM, konsumsi minyak pelumas, biaya produksi, dan kapasitas sistem pada periode Januari 2023 sampai Juni 2024. Indikator utama yang dianalisis adalah Specific Fuel Consumption (SFC), Specific Lubricant Consumption (SLC), dan Biaya Pokok Produksi (BPP). Sebelum interkoneksi, PLTD Kamanggih memiliki nilai SFC, SLC, dan BPP lebih tinggi dibandingkan PLTD Waingapu, yaitu 0,41661 liter/kWh, 0,00401 liter/kWh, dan 5.785,48 Rp/kWh, sedangkan PLTD Waingapu sebesar 0,27945 liter/kWh, 0,00012 liter/kWh, dan 3.160,71 Rp/kWh. Setelah interkoneksi, beban Kamanggih sebesar 0,114 MW dialihkan ke Sistem Waingapu yang masih memiliki daya mampu dan cadangan daya memadai. Perbandingan terbaik terjadi antara Triwulan 2 2023 dan Triwulan 2 2024, dengan penurunan SFC sebesar 0,00729 liter/kWh atau 2,59%, SLC sebesar 0,00012 liter/kWh atau 73,94%, dan BPP sebesar 87,57 Rp/kWh atau 2,63%. Hasil ini menunjukkan bahwa interkoneksi 20 kV efektif sebagai strategi dedieselisasi untuk meningkatkan efisiensi operasi, mengurangi pengoperasian PLTD isolated, dan menurunkan biaya produksi listrik.

Kata kunci: interkoneksi; PLTD; SFC; SLC; BPP

1. Pendahuluan

Sistem kelistrikan pada wilayah kepulauan memiliki tantangan operasi yang berbeda dibandingkan sistem besar yang telah terhubung transmisi. Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki kondisi geografis kepulauan, perbukitan, dan kepadatan beban yang relatif rendah sehingga sebagian layanan kelistrikannya masih bergantung pada pembangkit isolated. Pada kondisi seperti ini, Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sering dipakai karena investasi awal relatif lebih ringkas dan dapat ditempatkan dekat pusat beban. Namun, PLTD memiliki konsekuensi biaya operasi yang tinggi karena sangat bergantung pada bahan bakar minyak, minyak pelumas, biaya angkut bahan bakar, dan pemeliharaan mesin diesel [1-4].

Sistem Waingapu merupakan salah satu sistem kelistrikan utama di Pulau Sumba. Di sekitar sistem tersebut terdapat PLTD Kamanggih yang sebelumnya beroperasi sebagai pembangkit isolated. Berdasarkan data perusahaan, PLTD Kamanggih mempunyai nilai SFC, SLC, dan BPP yang jauh lebih tinggi dibandingkan PLTD Waingapu. Perbedaan tersebut menjadi alasan teknis dan ekonomis untuk menghubungkan beban PLTD Kamanggih ke Sistem Waingapu melalui jaringan distribusi 20 kV. Jarak jaringan yang memungkinkan serta adanya potensi pelanggan desa listrik membuat pembangunan

interkoneksi menjadi relevan tidak hanya dari sisi efisiensi pembangkit, tetapi juga dari sisi perluasan layanan kelistrikan [5,6].

Program dedieselisasi PLTD mendorong pengurangan operasi PLTD kecil atau isolated dengan tiga pendekatan utama, yaitu interkoneksi ke sistem yang lebih besar, penggantian bahan bakar non-BBM, atau konversi menuju pembangkit berbasis energi baru terbarukan. Pada tahap pertama, interkoneksi PLTD kecil ke grid yang lebih besar menjadi pilihan realistis karena dapat menurunkan konsumsi BBM secara langsung tanpa menunggu pembangunan pembangkit baru. Interkoneksi juga memungkinkan pembangkit yang lebih efisien menjadi pemasok utama bagi beban yang sebelumnya disuplai oleh unit diesel kecil yang kurang efisien [1,7,8].

Penelitian ini mengevaluasi operasi PLTD Kamanggih setelah beban sistemnya dialihkan ke Sistem Waingapu melalui interkoneksi 20 kV. Penilaian dilakukan dengan membandingkan indikator SFC, SLC, dan BPP pada periode sebelum dan sesudah interkoneksi. Dengan pendekatan ini, manfaat interkoneksi tidak hanya dilihat dari sisi teknis jaringan, tetapi juga dari dampaknya terhadap konsumsi bahan bakar, konsumsi minyak pelumas, dan biaya pokok produksi listrik.

2. Metode Penelitian

2.1. Data dan Kondisi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif berbasis data operasi PLTD Waingapu dan PLTD Kamanggih. Data sebelum interkoneksi menggunakan periode Januari 2023 sampai Maret 2024, sedangkan data sesudah interkoneksi menggunakan periode April 2024 sampai Juni 2024. Data yang dipakai mencakup produksi energi, pemakaian BBM, pemakaian minyak pelumas, biaya kepegawaian, biaya pemeliharaan, biaya sewa pembangkit, ongkos angkut BBM, penyusutan aset, daya mampu, cadangan daya, dan hasil simulasi kelayakan tegangan jaringan 20 kV.

Interkoneksi dilakukan dengan mengalihkan seluruh beban PLTD Kamanggih sekitar 0,114 MW ke Sistem Waingapu. Daya mampu Sistem Waingapu sebesar 18,37 MW dan cadangan daya 1,37 MW dinilai masih cukup untuk menampung tambahan beban tersebut. Tambahan beban Kamanggih hanya sekitar 0,62% dari daya mampu Sistem Waingapu sehingga secara kapasitas tidak memberikan tekanan signifikan terhadap sistem utama.

2.2. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah PLTD Kamanggih sebagai pembangkit isolated dan PLTD Waingapu sebagai sistem grid penerima beban. Interkoneksi dilakukan melalui jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV yang dibangun secara bertahap. Tahap pertama meliputi JTM 11,1 kms, tiga gardu distribusi, dan JTR 12,1 kms, sedangkan tahap kedua meliputi JTM 15,1 kms, satu gardu distribusi, dan JTR 8,1 kms. Total rute interkoneksi sekitar 26,2 kms sehingga memungkinkan beban Kamanggih dipasok dari Sistem Waingapu.

Tabel 1. Kondisi utama sebelum dan sesudah interkoneksi

Parameter	Sebelum interkoneksi	Sesudah interkoneksi
Pola operasi	PLTD Waingapu dan PLTD Kamanggih beroperasi terpisah	Beban Kamanggih dipasok Sistem Waingapu
Beban Kamanggih	Disuplai PLTD Kamanggih	Dialihkan ke Sistem Waingapu sekitar 0,114 MW
Daya mampu Waingapu	18,37 MW	Masih memadai menampung beban tambahan
Cadangan daya	1,37 MW sebelum pengalihan	Masih tercukupi setelah pengalihan beban
Status PLTD Kamanggih	Beroperasi isolated	Tidak dioperasikan rutin

2.3. Parameter dan Persamaan Kinerja

Evaluasi dilakukan menggunakan tiga indikator utama, yaitu SFC, SLC, dan BPP. SFC menunjukkan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi untuk menghasilkan satu kWh energi listrik. SLC menunjukkan jumlah minyak pelumas yang digunakan untuk menghasilkan satu kWh. BPP menunjukkan total biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan satu kWh energi listrik. Ketiga indikator ini umum digunakan untuk menilai efisiensi operasi pembangkit diesel dan keekonomian produksi tenaga listrik [3,4,9].

$$\text{SFC} = \text{Fuel} / \text{E} \quad (1)$$

$$\text{SLC} = \text{Lub} / \text{E} \quad (2)$$

$$\text{BPP} = (\text{DA} + \text{Peg} + \text{OM} + \text{BBM} + \text{Onk} + \text{Pel} + \text{Sewa}) / \text{E} \quad (3)$$

$$\Delta X = X_{\text{sebelum}} - X_{\text{sesudah}} \quad (4)$$

Pada Persamaan (1) sampai (4), Fuel adalah konsumsi BBM dalam liter, Lub adalah konsumsi minyak pelumas dalam liter, E adalah energi listrik yang diproduksi dalam kWh, DA adalah depresiasi aset, Peg adalah biaya kepegawaian, OM adalah biaya pemeliharaan, Onk adalah ongkos angkut BBM, Pel adalah biaya minyak pelumas, dan X adalah indikator yang dibandingkan sebelum dan sesudah interkoneksi.

2.4. Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan melalui empat tahap. Tahap pertama adalah mengelompokkan data produksi dan biaya berdasarkan kondisi sebelum dan sesudah interkoneksi. Tahap kedua adalah menghitung nilai SFC, SLC, dan BPP pada masing-masing periode. Tahap ketiga adalah membandingkan hasil perhitungan antarkondisi, terutama Semester 1 2023, Triwulan 2 2023, Triwulan 4 2023, Triwulan 1 2024, Semester 1 2024, dan Triwulan 2 2024. Tahap keempat adalah menafsirkan perubahan indikator berdasarkan perubahan pola operasi, penghentian operasi PLTD Kamanggih, pengurangan biaya kepegawaian, pengurangan biaya pelumas, serta pengalihan beban ke Sistem Waingapu.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Sebelum Interkoneksi

Sebelum interkoneksi, PLTD Waingapu dan PLTD Kamanggih beroperasi sebagai dua pusat pembangkit yang terpisah. Data tahun 2023 menunjukkan PLTD Kamanggih memiliki produksi energi jauh lebih kecil dibandingkan Sistem Waingapu, tetapi nilai SFC, SLC, dan BPP lebih tinggi. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa operasi Kamanggih kurang ekonomis untuk dipertahankan sebagai pembangkit isolated jika secara jaringan dapat dialihkan ke Sistem Waingapu.

Tabel 2. Hasil perhitungan sebelum interkoneksi tahun 2023

Unit	Total biaya (Rp)	Energi (kWh)	BBM (L)	Oli (L)	SFC	SLC	BPP
PLTD Waingapu	198.123.337.970	62.683.094	17.516.701	7.742	0,27945	0,00012	3.160,71
PLTD Kamanggih	1.541.755.585	266.487	111.021	1.069	0,41661	0,00401	5.785,48
Total	199.665.093.555	62.949.582	17.627.722	8.811	0,28003	0,00014	3.171,83

Tabel 2 memperlihatkan bahwa SFC PLTD Kamanggih sebesar 0,41661 liter/kWh, lebih tinggi daripada PLTD Waingapu sebesar 0,27945 liter/kWh. SLC PLTD Kamanggih juga jauh lebih tinggi, yaitu 0,00401 liter/kWh, sedangkan PLTD Waingapu hanya 0,00012 liter/kWh. Tingginya SLC pada Kamanggih berkaitan dengan kondisi unit Satuan Pembangkit Diesel (SPD) yang membutuhkan penambahan pelumas secara rutin. Akibatnya, BPP PLTD Kamanggih mencapai 5.785,48 Rp/kWh, jauh di atas PLTD Waingapu sebesar 3.160,71 Rp/kWh.

3.2. Pembangunan Jaringan Interkoneksi 20 kV

Pembangunan interkoneksi 20 kV dilakukan untuk menghubungkan jaringan yang sebelumnya disuplai PLTD Kamanggih dengan jaringan Sistem Waingapu. Tahap pertama selesai pada November 2023 dan melewati Desa Kotak Kawau, sedangkan tahap kedua selesai pada Maret 2024 hingga titik pertemuan jaringan Kamanggih. Selain memungkinkan pengalihan beban, pembangunan jaringan juga mendukung peningkatan rasio desa berlistrik karena melewati wilayah dengan potensi pelanggan baru.

Hasil simulasi aliran daya menunjukkan tegangan ujung jaringan masih berada dalam batas mutu pelayanan. Sebelum interkoneksi, tegangan ujung sisi Kamanggih tercatat sekitar 19.859 V dan sisi Rindi sekitar 19.166 V. Setelah interkoneksi dan PLTD Kamanggih tidak beroperasi, tegangan ujung Kamanggih sekitar 19.572 V dan sisi Rindi sekitar 19.164 V. Nilai tersebut masih berada dalam rentang standar 18.000-21.000 V untuk sistem 20 kV, sehingga secara tegangan interkoneksi masih layak dilakukan [6,10].

3.3. Kondisi Sesudah Interkoneksi

Setelah interkoneksi beroperasi, PLTD Kamanggih tidak lagi memproduksi energi secara rutin pada Triwulan 2 2024. Biaya BBM, ongkos angkut BBM, minyak pelumas, dan biaya operator Kamanggih dapat dikurangi. Pada periode Triwulan 2 2024, perhitungan hanya menggunakan data Sistem Waingapu karena beban Kamanggih telah menjadi bagian dari suplai Waingapu. Kondisi ini membuat konsumsi spesifik bahan bakar dan pelumas secara sistem menjadi lebih rendah.

Tabel 3. Perbandingan hasil perhitungan beberapa periode

Periode	Status	SFC (L/kWh)	SLC (L/kWh)	BPP (Rp/kWh)
Semester 1 2023	Sebelum	0,28118	0,00016	3.225,09
Triwulan 2 2023	Sebelum	0,28112	0,00016	3.334,72
Triwulan 4 2023	Sebelum	0,27614	0,00006	3.304,83
Triwulan 1 2024	Transisi	0,27586	0,00009	3.303,69
Semester 1 2024	Sesudah parsial	0,27482	0,00007	3.185,85
Triwulan 2 2024	Sesudah	0,27383	0,00004	3.247,16

Tabel 3 menunjukkan tren penurunan SFC, SLC, dan BPP setelah interkoneksi. Nilai SFC terendah terjadi pada Triwulan 2 2024 sebesar 0,27383 liter/kWh. Nilai SLC juga turun menjadi 0,00004 liter/kWh karena PLTD Kamanggih tidak lagi beroperasi dan tidak lagi membutuhkan penambahan pelumas harian. BPP Triwulan 2 2024 sebesar 3.247,16 Rp/kWh lebih rendah daripada Triwulan 2 2023, Triwulan 4 2023, dan Triwulan 1 2024. Perbandingan BPP semesteran perlu dibaca hati-hati karena perbedaan horizon waktu dan komponen penyusutan aset dapat memengaruhi pembagian biaya per kWh.

3.4. Penurunan SFC, SLC, dan BPP

Penurunan nilai utama diperoleh ketika periode sebelum dan sesudah interkoneksi dibandingkan pada rentang waktu yang sebanding. Perbandingan Triwulan 2 2023 dengan Triwulan 2 2024 menunjukkan pengaruh terbesar karena kedua periode memiliki durasi yang sama dan menggambarkan kondisi sebelum dan sesudah secara lebih langsung. Pada perbandingan ini, SFC turun 0,00729 liter/kWh atau 2,59%, SLC turun 0,00012 liter/kWh atau 73,94%, dan BPP turun 87,57 Rp/kWh atau 2,63%.

Tabel 4. Penurunan indikator operasi setelah interkoneksi

Periode perbandingan	ΔSFC	SFC (%)	ΔSLC	SLC (%)	ΔBPP	BPP (%)
Semester 1 2023-Semester 1 2024	0,00636	2,26	0,00009	59,18	39,23	1,22
Triwulan 2 2023-Triwulan 2 2024	0,00729	2,59	0,00012	73,94	87,57	2,63
Triwulan 4 2023-Triwulan 2 2024	0,00231	0,84	0,00002	33,65	57,68	1,75
Triwulan 1 2024-Triwulan 2 2024	0,00203	0,73	0,00005	53,68	56,53	1,71

Penurunan SFC terjadi karena beban yang sebelumnya disuplai oleh PLTD Kamanggih dialihkan ke PLTD Waingapu yang memiliki histori konsumsi bahan bakar lebih baik. Penurunan SLC lebih besar dibandingkan penurunan SFC karena konsumsi minyak pelumas PLTD Kamanggih sangat tinggi akibat kondisi unit yang sudah tidak optimal. Dengan berhentinya operasi Kamanggih, kebutuhan pelumas pada lokasi tersebut hilang dari perhitungan operasi rutin. Penurunan BPP terjadi karena biaya BBM, ongkos angkut BBM, pelumas, tenaga kerja operator, dan rencana pemeliharaan preventif Kamanggih dapat ditekan.

3.5. Dampak Penghematan Operasi

Dampak penghematan tidak hanya berasal dari penurunan konsumsi BBM. Sebelum interkoneksi, PLTD Kamanggih membutuhkan operator khusus, ongkos angkut BBM yang lebih mahal, dan rencana pemeliharaan pada unit SPD yang telah mendekati siklus overhaul. Setelah interkoneksi, unit-unit Kamanggih tidak lagi menambah jam kerja sehingga rencana pemeliharaan besar dapat dihindari atau dialihkan. Pada data penelitian, potensi penghematan pemeliharaan preventif untuk tiga mesin mencapai 1.144.805.600 rupiah, sedangkan pengurangan biaya operator pada sisa tahun berjalan juga menjadi komponen penghematan.

Tabel 5. Komponen penghematan utama akibat interkoneksi

Komponen	Kondisi sebelum	Kondisi sesudah	Makna teknis
BBM	Kamanggih memakai BBM sendiri	Beban dipasok Waingapu	SFC sistem turun
Ongkos angkut BBM	Biaya angkut ke Kamanggih lebih mahal	Angkut ke Kamanggih tidak diperlukan	BPP turun
Minyak pelumas	Konsumsi tinggi pada SPD Kamanggih	Konsumsi pelumas Kamanggih hilang	SLC turun signifikan
Kepegawaian	Operator Kamanggih masih diperlukan	Operator khusus tidak diperlukan rutin	Biaya tetap turun
Pemeliharaan	Risiko P6-P8/MO meningkat	Jam kerja Kamanggih berhenti	Penghematan preventif

3.6. Implikasi Sistem Kelistrikan Waingapu

Dari sisi sistem, pengalihan beban 0,114 MW ke Sistem Waingapu tidak memberikan tambahan beban yang besar. Nilai tersebut hanya sekitar 0,62% dari daya mampu Waingapu. Dengan demikian, interkoneksi lebih dominan memberikan manfaat ekonomi dibandingkan menambah risiko kapasitas secara signifikan. Namun, operasi tetap perlu memperhatikan batas tegangan ujung jaringan, koordinasi proteksi, kemampuan penghantar, serta keandalan penyulang karena beban yang sebelumnya isolated kini bergantung pada kontinuitas suplai jaringan 20 kV. Interkoneksi juga mengubah pola pemeliharaan. Sebelum interkoneksi, keandalan PLTD Kamanggih bergantung pada kondisi mesin diesel lokal. Setelah interkoneksi, keandalan suplai Kamanggih bergantung pada jaringan distribusi, gardu, proteksi, dan kemampuan manuver Sistem Waingapu. Oleh karena itu, manfaat penurunan SFC, SLC, dan BPP harus diimbangi dengan kesiapan operasi jaringan. Jika terjadi gangguan pada penyulang interkoneksi, daerah Kamanggih dapat terdampak kecuali tersedia alternatif suplai atau prosedur recovery yang cepat [6,8,10].

3.7. Keterbatasan Penelitian dan Arah Lanjutan

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena data sesudah interkoneksi baru mencakup periode April sampai Juni 2024. Data tersebut sudah menunjukkan penurunan indikator operasi, tetapi belum cukup untuk menggambarkan kinerja setahun penuh. Selain itu, BPP dipengaruhi oleh faktor biaya sewa pembangkit, penyusutan aset, perubahan produksi energi, dan pola operasi unit sewa sehingga perbandingan perlu dilakukan pada periode yang sebanding. Analisis juga belum memasukkan evaluasi finansial investasi jaringan secara rinci, seperti nilai investasi, payback period, dan manfaat ekonomi jangka panjang. Penelitian lanjutan dapat memperluas evaluasi dengan data tahunan setelah interkoneksi penuh, simulasi keandalan jaringan, perhitungan losses distribusi, evaluasi SAIDI-SAIFI, serta analisis ekonomi investasi jaringan. Dengan demikian, keputusan dedieselisasi melalui interkoneksi dapat dinilai lebih lengkap, bukan hanya berdasarkan penurunan SFC, SLC, dan BPP, tetapi juga berdasarkan keandalan layanan dan kelayakan biaya investasi.

3.8. Rekomendasi Monitoring Pasca-Interkoneksi

Monitoring pasca-interkoneksi diperlukan agar manfaat efisiensi tidak hanya terlihat pada awal implementasi. Parameter yang perlu dipantau meliputi SFC, SLC, BPP, beban puncak, tegangan ujung jaringan, pemakaian BBM, pemakaian pelumas, biaya pemeliharaan, dan gangguan penyulang. Evaluasi bulanan dapat digunakan untuk membandingkan kondisi aktual dengan baseline sebelum interkoneksi serta menentukan apakah pengoperasian PLTD Kamanggih masih perlu dipertahankan sebagai cadangan darurat atau dapat sepenuhnya dihentikan dari operasi rutin.

Tabel 6. Rekomendasi monitoring pasca-interkoneksi

Parameter	Tujuan pemantauan	Arah evaluasi
SFC system	Menilai efisiensi bahan bakar	Menurun atau stabil pada beban sebanding
SLC system	Menilai konsumsi minyak pelumas	Menurun setelah Kamanggih berhenti operasi
BPP system	Menilai biaya produksi per kWh	Turun pada periode pembandingan yang sama
Tegangan ujung 20 kV	Menjaga mutu tegangan	Berada pada rentang standar pelayanan
Gangguan penyulang	Menilai risiko keandalan	Tidak meningkat setelah interkoneksi
Jam kerja SPD Kamanggih	Menilai kebutuhan cadangan	Tidak bertambah kecuali operasi darurat

3.9. Pembahasan Kritis Indikator Kinerja

Pembacaan indikator SFC, SLC, dan BPP harus dilakukan secara bersama-sama. Penurunan SFC menunjukkan bahwa energi listrik dapat diproduksi dengan konsumsi BBM yang lebih rendah. Penurunan SLC menunjukkan berkurangnya kebutuhan minyak pelumas akibat penghentian operasi unit yang kurang sehat. Penurunan BPP menggabungkan dampak konsumsi bahan bakar, pelumas, biaya tenaga kerja, pemeliharaan, sewa, dan penyusutan aset. Karena itu, BPP tidak selalu berubah searah dengan SFC dalam setiap periode, terutama jika terdapat perubahan besar pada biaya sewa atau penyusutan.

Indikator paling kuat dalam penelitian ini adalah perbandingan Triwulan 2 2023 dan Triwulan 2 2024. Periode ini menunjukkan kondisi sebelum dan sesudah dengan rentang waktu yang sama sehingga efek interkoneksi dapat terlihat lebih jelas. Pada perbandingan tersebut, seluruh indikator bergerak ke arah positif, yaitu SFC turun, SLC turun, dan BPP turun. Pola ini memberi dasar kuat bahwa interkoneksi 20 kV dapat menjadi strategi teknis dan ekonomis untuk mengurangi operasi PLTD isolated yang boros.

Tabel 7. Interpretasi kritis indikator kinerja

Indikator	Kecenderungan	Makna operasional
SFC	Turun setelah interkoneksi	Penggunaan BBM per kWh lebih efisien
SLC	Turun sangat besar	Unit dengan konsumsi pelumas tinggi berhenti operasi
BPP	Turun pada periode pembandingan sama	Biaya produksi per kWh lebih rendah
Daya mampu	Masih memadai	Tambahan beban Kamanggih tidak membebani system
Tegangan ujung	Masih dalam standar	Interkoneksi layak secara mutu tegangan
Keandalan jaringan	Perlu dipantau	Risiko beralih dari mesin ke penyulang

3.10. Sintesis Manfaat Operasi Interkoneksi

Sintesis hasil penelitian menunjukkan bahwa interkoneksi memberi tiga manfaat utama. Pertama, manfaat teknis berupa pengalihan beban dari unit diesel kecil yang boros ke sistem yang memiliki daya mampu lebih besar. Kedua, manfaat ekonomi berupa penurunan SFC, SLC, dan BPP, termasuk potensi penghematan pemeliharaan dan tenaga kerja. Ketiga, manfaat strategis berupa dukungan terhadap program dedieselisasi dan pengurangan ketergantungan pada PLTD isolated. Manfaat tersebut membuat interkoneksi 20 kV dapat dipertimbangkan sebagai model untuk lokasi lain yang memiliki PLTD kecil dekat dengan grid utama.

Walaupun demikian, keberhasilan interkoneksi tidak boleh hanya diukur dari berhentinya PLTD Kamanggih. Keberhasilan jangka panjang harus dilihat dari kestabilan penurunan indikator selama satu tahun operasi, kemampuan jaringan menjaga mutu tegangan, serta kemampuan sistem melakukan manuver saat terjadi gangguan. Jika ketiga aspek tersebut terpenuhi, maka interkoneksi bukan hanya menurunkan biaya produksi, tetapi juga meningkatkan kualitas pengelolaan sistem kelistrikan daerah isolated.

3.11. Validasi Kapasitas dan Mutu Tegangan

Validasi kapasitas sistem menjadi bagian penting karena interkoneksi tidak boleh menurunkan keandalan pasokan Sistem Waingapu. Berdasarkan data neraca daya, beban puncak Kamanggih sekitar 0,114 MW relatif kecil dibandingkan daya mampu Waingapu sebesar 18,37 MW. Setelah beban Kamanggih dialihkan, cadangan daya sistem masih tersedia sehingga operasi unit utama tidak perlu dipaksa di luar batas kemampuan. Kondisi ini berbeda dengan interkoneksi yang memindahkan beban besar, karena pada kasus Kamanggih perubahan beban lebih berfungsi sebagai optimasi operasi dan pengurangan biaya, bukan sebagai perubahan besar struktur pembebanan sistem.

Mutu tegangan juga perlu menjadi pertimbangan karena pelanggan Kamanggih sebelumnya dekat dengan pembangkit lokal. Hasil simulasi menunjukkan tegangan sisi ujung jaringan setelah interkoneksi tetap berada di atas batas bawah pelayanan. Dengan demikian, interkoneksi masih layak dari sisi teknis jaringan. Walaupun demikian, evaluasi tegangan perlu dilakukan secara periodik terutama saat beban puncak malam, saat terjadi perubahan konfigurasi penyulang, dan saat ada gangguan pada jaringan 20 kV. Jika penambahan pelanggan desa listrik di sepanjang rute interkoneksi meningkat, evaluasi ulang kapasitas penghantar dan gardu distribusi perlu dilakukan agar manfaat efisiensi tidak mengorbankan mutu pelayanan.

Tabel 8. Validasi ringkas interkoneksi terhadap operasi sistem

Aspek	Kondisi hasil evaluasi	Implikasi operasi
Tambahan beban	Sekitar 0,114 MW atau 0,62% daya mampu	Tidak signifikan terhadap kapasitas Waingapu
Cadangan daya	Masih tersedia setelah pengalihan beban	Pengalihan beban dapat diterima
Tegangan ujung	Masih dalam rentang standar 20 kV	Mutu tegangan layak dipertahankan
Pola operasi	Kamanggih tidak menjadi base supply	Biaya BBM dan pelumas lokasi turun
Risiko baru	Ketergantungan pada penyulang 20 kV	Perlu monitoring gangguan dan proteksi

3.12. Arah Pengembangan Program Dedieselisasi

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan awal untuk pengembangan program dedieselisasi di lokasi lain. Kriteria lokasi yang layak untuk interkoneksi tidak hanya berdasarkan jarak ke grid utama, tetapi juga harus mempertimbangkan perbedaan SFC, SLC, dan BPP antara PLTD isolated dan sistem penerima [17-20]. Jika PLTD isolated memiliki BPP jauh lebih tinggi, konsumsi pelumas tinggi, dan beban relatif kecil, maka interkoneksi cenderung menghasilkan manfaat ekonomi yang lebih jelas. Sebaliknya, jika beban isolated besar atau jarak jaringan terlalu panjang, analisis perlu dilengkapi dengan studi investasi jaringan, losses distribusi, dan keandalan sistem.

Dalam konteks PLN, program interkoneksi juga dapat diselaraskan dengan pembangunan listrik desa. Pada kasus Kamanggih, rute jaringan tidak hanya menghubungkan pembangkit isolated ke Sistem Waingapu, tetapi juga melewati wilayah dengan calon pelanggan baru. Artinya, investasi jaringan memiliki manfaat ganda: menurunkan biaya operasi PLTD dan memperluas layanan tenaga listrik. Model seperti ini dapat menjadi prioritas karena memberikan dampak langsung terhadap efisiensi operasi sekaligus meningkatkan rasio elektrifikasi.

Tahap lanjutan yang perlu dilakukan adalah menyusun indeks prioritas dedieselisasi berbasis data. Indeks tersebut dapat memadukan jarak ke grid, nilai SFC, nilai SLC, BPP, beban puncak, daya mampu sistem penerima, potensi pelanggan baru, dan nilai investasi jaringan. Dengan indeks tersebut, keputusan interkoneksi dapat dibuat lebih objektif dan dapat dibandingkan antar lokasi isolated.

Pendekatan berbasis data juga membantu memastikan bahwa interkoneksi tidak hanya menjadi proyek jaringan, tetapi menjadi bagian dari strategi penurunan biaya operasi pembangkit.

3.13. Sintesis Akhir Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan interkoneksi 20 kV PLTD Kamanggih bukan hanya terletak pada pembangunan fisik jaringan, tetapi pada perubahan pola dispatch pembangkit. Sebelum interkoneksi, PLTD Kamanggih tetap harus menyediakan BBM, pelumas, tenaga operator, dan pemeliharaan meskipun produksi energinya relatif kecil. Sesudah interkoneksi, beban tersebut dapat dipenuhi oleh Sistem Waingapu yang memiliki skala operasi lebih besar dan indikator konsumsi spesifik lebih rendah. Skala sistem yang lebih besar membuat biaya tetap dan biaya operasi dapat tersebar pada produksi energi yang lebih besar sehingga BPP sistem menurun.

Penurunan SLC yang sangat tinggi memperlihatkan bahwa kondisi teknis unit Kamanggih menjadi faktor penting. Jika sebuah PLTD kecil memiliki konsumsi minyak pelumas jauh lebih besar akibat kondisi mesin yang menurun, maka biaya operasi tidak hanya dipengaruhi oleh harga BBM. Interkoneksi dalam kasus seperti ini menjadi solusi yang mampu menghindari biaya pelumas dan biaya pemeliharaan yang terus meningkat. Oleh karena itu, analisis dedieselisasi sebaiknya selalu memasukkan kondisi aktual mesin, bukan hanya kapasitas terpasang dan kebutuhan beban.

Namun, manfaat tersebut harus tetap dijaga melalui tata kelola operasi jaringan. Setelah PLTD Kamanggih tidak lagi menjadi pemasok utama, kontinuitas pasokan pelanggan Kamanggih sangat bergantung pada keandalan jaringan 20 kV dari Sistem Waingapu. Program inspeksi jaringan, pemangkasan pohon, pengujian proteksi, dan kesiapan regu gangguan menjadi bagian dari keberlanjutan manfaat interkoneksi. Dengan demikian, strategi interkoneksi perlu dilihat sebagai paket lengkap antara efisiensi pembangkit, keandalan distribusi, dan peningkatan layanan pelanggan.

3.14. Implikasi Ekonomi Tahunan

Apabila hasil Triwulan 2 2024 digunakan sebagai indikasi awal, penghematan BPP sebesar 87,57 Rp/kWh dapat memberi dampak ekonomi yang berarti ketika dikalikan dengan produksi energi sistem yang besar. Walaupun nilai per kWh terlihat kecil, total energi yang diproduksi Sistem Waingapu berada pada skala jutaan kWh per triwulan. Oleh karena itu, interkoneksi PLTD isolated yang memiliki BPP tinggi dapat menghasilkan penghematan kumulatif yang signifikan sepanjang tahun. Perhitungan tahunan tetap perlu menggunakan data aktual satu tahun penuh agar variasi beban, sewa pembangkit, penyusutan, dan biaya pemeliharaan dapat diperhitungkan secara lebih adil.

Aspek ekonomi lainnya adalah penghindaran biaya pemeliharaan besar. Sebelum interkoneksi, beberapa unit SPD Kamanggih diproyeksikan mendekati siklus pemeliharaan besar. Setelah jam kerja unit tidak bertambah, kebutuhan pemeliharaan besar dapat ditunda, dihindari, atau dipindahkan sesuai strategi aset. Dampak ini tidak selalu langsung terlihat pada SFC, tetapi berpengaruh terhadap BPP karena biaya pemeliharaan termasuk komponen biaya produksi. Dengan demikian, keputusan interkoneksi perlu memadukan perhitungan biaya energi, biaya pemeliharaan, dan biaya jaringan.

Dari sudut pandang pengelolaan aset, penghentian operasi PLTD Kamanggih juga membuka peluang relokasi unit SPD ke lokasi yang membutuhkan daya mampu tambahan. Relokasi tersebut dapat meningkatkan pemanfaatan aset karena mesin yang sebelumnya beroperasi tidak efisien dapat difungsikan sebagai cadangan atau penguat pasokan di lokasi lain. Namun, relokasi tetap harus mempertimbangkan kondisi mesin, biaya pemindahan, kebutuhan overhaul, serta kesesuaian kapasitas dengan sistem tujuan. Oleh karena itu, manfaat interkoneksi tidak berhenti pada penurunan biaya di Kamanggih, tetapi dapat diperluas menjadi optimasi portofolio aset PLTD di wilayah kepulauan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, interkoneksi PLTD Kamanggih dengan Sistem Waingapu melalui jaringan 20 kV memberikan pengaruh positif terhadap penurunan SFC, SLC, dan BPP. Pada perbandingan Triwulan 2 2023 dengan Triwulan 2 2024, SFC turun dari 0,28112 liter/kWh menjadi 0,27383 liter/kWh, atau turun 0,00729 liter/kWh setara 2,59%. Hal ini menunjukkan penggunaan bahan bakar sistem menjadi lebih efisien setelah beban Kamanggih dialihkan ke Sistem Waingapu.

SLC mengalami penurunan paling besar, yaitu dari 0,00016 liter/kWh menjadi 0,00004 liter/kWh, atau turun 0,00012 liter/kWh setara 73,94%. Penurunan ini terjadi karena PLTD Kamanggih yang sebelumnya membutuhkan penambahan minyak pelumas tinggi tidak lagi beroperasi rutin. BPP juga turun dari 3.334,72 Rp/kWh menjadi 3.247,16 Rp/kWh, atau turun 87,57 Rp/kWh setara 2,63% pada periode pembandingan yang sama.

Interkoneksi dilakukan dengan mengalihkan beban Kamanggih sekitar 0,114 MW ke Sistem Waingapu yang memiliki daya mampu 18,37 MW dan cadangan daya 1,37 MW. Tambahan beban tersebut relatif kecil terhadap daya mampu sistem sehingga secara kapasitas masih dapat diterima. Dengan demikian, interkoneksi 20 kV dapat dijadikan strategi dedieselisasi untuk menurunkan konsumsi BBM, konsumsi pelumas, dan biaya produksi listrik, sepanjang tetap disertai monitoring tegangan, keandalan penyulang, SFC, SLC, dan BPP secara berkala.

Secara operasional, keberhasilan interkoneksi perlu dipertahankan melalui inspeksi rutin jaringan 20 kV, evaluasi tegangan ujung, pengujian proteksi, dan pencatatan gangguan penyulang. PLTD Kamanggih dapat dipertimbangkan sebagai cadangan darurat apabila kondisi aset masih layak, tetapi operasi rutinnya tidak perlu diprioritaskan karena indikator konsumsi spesifiknya lebih tinggi. Strategi ini akan menjaga agar manfaat penurunan SFC, SLC, dan BPP tetap berkelanjutan pada periode operasi berikutnya.

Untuk penerapan di lokasi lain, interkoneksi PLTD isolated sebaiknya dipilih berdasarkan selisih BPP terhadap sistem penerima, jarak jaringan, ketersediaan daya mampu, potensi pelanggan baru, dan kondisi teknis mesin diesel. Lokasi dengan beban kecil, jarak dekat ke grid, biaya angkut BBM tinggi, dan konsumsi pelumas besar menjadi kandidat yang paling layak. Dengan kriteria tersebut, dedieselisasi melalui interkoneksi dapat dilakukan secara lebih terarah dan dapat memberikan manfaat teknis maupun ekonomis yang terukur.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT PLN (Persero) UIW Nusa Tenggara Timur, UP3 Sumba, UP2K Sumba, dan ULPL Waingapu atas dukungan data penelitian, serta kepada pembimbing dan Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi PLN yang telah memberikan arahan dalam penyusunan artikel ini.

Daftar Rujukan

- [1] Tasfif A. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero). Jakarta: Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia; 2021.
- [2] Prabowo MF. Optimasi Pengembangan Penyedia Daya Cadangan Hybrid di Daerah Muntok Pulau Bangka. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia; 2018.
- [3] Masrianto, Rahman ES, Ruslan. Studi tentang proses pembangkitan listrik tenaga diesel PT PLN (Persero) Wilayah SULSELBAR Sektor Tello Makassar. 2019:1-6.
- [4] Wanevi SK, Arzul. Studi analisa Specific Fuel Consumption pada PT PLN (Persero) PLTD Bengkalis Riau. 2022:1-5.
- [5] Susanto I, Sunanda W, Kurniawan R. Analisis pembangkit tenaga diesel di Pulau Celagen. 2019:2-4.
- [6] Krismanto AI. Analisis Perencanaan Rekonfigurasi Kelistrikan Labuan Bajo untuk Mendukung Program Kawasan Strategis Pariwisata Nasional dengan Sistem Zero Down Time. 2022:8-12.
- [7] Budi I, Wartana IM, Setiawan C. Analisa performa interkoneksi PLTS pada sistem kelistrikan 20 kV Lombok Nusa Tenggara Barat. Jurnal Fortech. 2023:1-9.
- [8] Premadi A, Ilmi F. Analisa kualitas penyaluran daya pada sistem 20 kV Painan terhadap interkoneksi dengan PLTM Lumpo 3 MW. JTE-ITP. 2021:1-4.
- [9] Hay S. Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan tenaga listrik per golongan pelanggan studi kasus PT PLN (Persero) Sistem SULSELBAR. Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. 2014:2-4.
- [10] Ruchiyat A. Pengaruh frekuensi sistem terhadap konsumsi bahan bakar pada beban puncak mesin Ruston 16 RKC. Jurnal Simetrik. 2020:1-6.
- [11] J B, Camerling, Fretes RD. Pemilihan alternatif bahan bakar mesin pembangkit PLTD. Jurnal METIKS. 2021;1(1):1-5.
- [12] Cappenberg AD. Pengaruh penggunaan bahan bakar solar, biosolar dan Pertamina Dex terhadap prestasi motor diesel silinder tunggal. Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ. 2017;2:1-6.
- [13] Hartono R, Saputra DA. Biodiesel B30 terhadap Specific Fuel Consumption mesin. Dinamika Jurnal Teknik Mesin UNKHAIR. 2022:1-4.
- [14] Pasak ZR. Analisa Unjuk Kerja PLTD Berbahan Bakar Biodiesel (B30) pada ULPLTD Hative Kecil, Kota Ambon. Makassar: Politeknik Ujung Pandang; 2023.
- [15] Tanjung A, Maulana Z, Yuvendius H. Analisis generator sinkron Unit 2 akibat overheating di Pembangkit Listrik Tenaga Gas MPP Balai Pungut. 2023:2-5.

- [16] PT PLN (Persero) ULPL Waingapu. Data perusahaan, produksi energi, konsumsi BBM, minyak pelumas, dan BPP Sistem Waingapu tahun 2023-2024. Waingapu: PLN; 2024.
- [17] PT PLN (Persero) UP3 Sumba. Data sistem kelistrikan dan konfigurasi jaringan 20 kV Pulau Sumba. Sumba: PLN; 2024.
- [18] PT PLN (Persero) UP2K Sumba. Data pembangunan jaringan interkoneksi 20 kV Kamanggih-Waingapu. Sumba: PLN; 2024.
- [19] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Keputusan Menteri ESDM Nomor 188.K/HK.02/MEM.L/2021 tentang RUPTL PT PLN (Persero) 2021-2030. Jakarta: KESDM; 2021.
- [20] PT PLN (Persero). Statistik PLN 2023. Jakarta: PT PLN (Persero); 2024.
- [21] Putra TS, Prabowo E, Ramadani F. Pengaruh Overhaul Terhadap Kinerja High Pressure Heater Unit 3 PLTU Banten Lontar. JTM: JURNAL TEKNIK MESIN. 2026 Feb 1;2(1):10-5.