

# Implementasi Generator Set pada Gedung Main Powerhouse 1 untuk Daya Listrik Cadangan di Bandara SAMS Sepinggan Balikpapan

*Implementation of Generator Set in Main Powerhouse 1 Building for Backup Electric Power at SAMS Sepinggan Balikpapan Airport*

Aldi Pratama<sup>1</sup>, Soni Prayogi\*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pertamina, Jalan TeukuNyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta 12220, Jakarta. Indonesia  
E-mail: <sup>1</sup>aldipratama0552@gmail.com, <sup>2\*</sup>soni.prayogi@universitaspertamina.ac.id

*\*Corresponding author*

## Abstrak

Penggunaan generator set sebagai sumber daya listrik cadangan di Bandara SAMS Sepinggan Balikpapan merupakan langkah krusial dalam menjamin kontinuitas operasional dan keselamatan penerbangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi implementasi generator set di Gedung Main Powerhouse 1, termasuk analisis teknis, operasional, dan efisiensi energi. Metodologi yang digunakan mencakup pengumpulan data primer melalui observasi lapangan dan wawancara dengan teknisi, serta data sekunder dari dokumen teknis dan laporan operasional bandara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan generator set mampu menyediakan daya listrik cadangan yang andal selama terjadi gangguan pada pasokan utama, dengan waktu respon yang cepat dan kapasitas yang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan kritis bandara. Selain itu, sistem pemeliharaan berkala yang diterapkan berhasil menjaga performa optimal generator set, mengurangi risiko kegagalan operasional. Studi ini juga menemukan bahwa efisiensi energi generator set dapat ditingkatkan melalui pengoptimalan beban dan penggunaan teknologi terkini. Implementasi ini tidak hanya meningkatkan keandalan pasokan listrik tetapi juga mendukung operasional bandara yang lebih aman dan efisien. Rekomendasi dari penelitian ini meliputi peningkatan pelatihan teknisi, pembaruan perangkat keras, dan pengembangan prosedur mitigasi risiko untuk memastikan keberlanjutan pasokan listrik cadangan di masa mendatang.

Kata kunci: Generator Set; Daya Listrik Cadangan; Bandara SAMS Sepinggan; Main Powerhouse.

## Abstract

*The use of generator sets as a backup electrical power source at SAMS Sepinggan Balikpapan Airport is a crucial step in ensuring operational continuity and flight safety. This research aims to evaluate the implementation of generator sets in the Main Powerhouse 1 Building, including technical, operational and energy efficiency analysis. The methodology used includes collecting primary data through field observations and interviews with technicians, as well as secondary data from technical documents and airport operational reports. The research results show that the installation of a generator set can provide reliable backup electrical power during disruptions to the main supply, with fast response times and sufficient capacity to meet critical airport needs. In addition, the periodic maintenance system implemented is successful in maintaining optimal generator set performance, reducing the risk of operational failure. This study also found that generator set energy efficiency can be improved through load optimization and the use of the latest technology. This implementation not only increases the reliability of electricity supply but also supports safer and more efficient airport operations. Recommendations from this research include improving technician training, updating hardware, and developing risk mitigation procedures to ensure the sustainability of backup power supplies into the future.*

Keywords: Generator Sets; Backup Electrical Power; SAMS Sepinggan Airport; Main Powerhouse.

## 1. PENDAHULUAN

Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan merupakan salah satu bandara internasional terpenting di Indonesia, yang berfungsi sebagai gerbang utama bagi wilayah Kalimantan Timur. Mengingat peran strategisnya, bandara ini harus menjamin keandalan pasokan listrik untuk mendukung berbagai operasional, baik penerbangan maupun layanan penumpang. Ketidakstabilan pasokan listrik dari jaringan utama dapat menyebabkan gangguan serius yang berpotensi membahayakan keselamatan penerbangan dan mengganggu kenyamanan penumpang [1]. Oleh karena itu, keberadaan daya listrik cadangan yang andal sangat penting [2], dan implementasi generator set di Gedung Main Power House 1 merupakan langkah krusial untuk memastikan kontinuitas operasional bandara [3]. Gedung Main Power House 1 berfungsi sebagai pusat distribusi listrik utama bagi seluruh kompleks bandara [4]. Dalam situasi pemadaman listrik dari jaringan utama [5], generator set yang terpasang di gedung ini dirancang untuk secara otomatis mengambil alih penyediaan daya listrik [6]. Implementasi generator set ini tidak hanya sebagai solusi darurat, tetapi juga bagian dari strategi jangka panjang untuk meningkatkan keandalan dan ketahanan sistem kelistrikan bandara. Perencanaan yang matang, pemasangan yang tepat, dan pemeliharaan yang rutin sangat diperlukan untuk memastikan kinerja optimal dari generator set tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi aspek teknis dan operasional dari implementasi generator set di Gedung Main Powerhouse 1, serta dampaknya terhadap kelancaran operasional bandara.

Ketersediaan daya listrik yang andal merupakan faktor krusial dalam operasional bandara, mengingat kebutuhan energi yang tinggi untuk sistem navigasi, pencahayaan, dan fasilitas penunjang lainnya. Implementasi sistem daya cadangan dengan *Generator Set* (Genset) pada Gedung Main Powerhouse 1 di Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan bertujuan untuk memastikan kontinuitas pasokan listrik dalam kondisi darurat atau gangguan dari jaringan utama. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas aspek performa dan keandalan sistem daya cadangan. Studi oleh [7] menyoroti pentingnya pemilihan kapasitas genset yang sesuai untuk memastikan stabilitas tegangan dan frekuensi selama transisi dari jaringan utama ke sumber cadangan. Sementara itu, penelitian oleh [8] mengkaji efisiensi operasional genset berbahan bakar diesel dibandingkan dengan sistem berbasis gas alam, di mana hasilnya menunjukkan bahwa bahan bakar gas memberikan efisiensi bahan bakar lebih tinggi, tetapi memerlukan sistem penyimpanan yang lebih kompleks. Studi oleh [9] membahas strategi otomatisasi switching antara daya utama dan daya cadangan untuk meminimalkan waktu jeda (blackout time), sedangkan penelitian oleh [10] mengidentifikasi bahwa perawatan berbasis kondisi dapat meningkatkan umur operasional genset hingga 15%. Selain itu, penelitian oleh [11] menekankan pentingnya pengendalian emisi pada sistem genset untuk mematuhi regulasi lingkungan, yang menjadi tantangan dalam pengoperasian jangka panjang. Dari tinjauan ini, ditemukan bahwa kebanyakan penelitian lebih fokus pada efisiensi bahan bakar, strategi pemeliharaan, dan optimalisasi transisi daya, namun masih sedikit yang membahas implementasi konkret sistem genset dalam lingkungan bandara dengan karakteristik beban yang fluktuatif dan kebutuhan keandalan tinggi.

Penelitian ini juga mengidentifikasi tantangan dan peluang yang muncul dari penggunaan generator set sebagai sumber daya listrik cadangan. Melalui analisis data teknis dan operasional, penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan sistem generator set [12]. Studi ini juga mengevaluasi prosedur pemeliharaan dan pelatihan teknisi yang diperlukan untuk menjaga performa optimal generator set. Oleh karena itu, penelitian ini berkontribusi dalam mengisi gap tersebut dengan menganalisis implementasi genset pada Gedung Main Powerhouse 1 di Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan, mengevaluasi performa operasionalnya dalam kondisi aktual, serta memberikan rekomendasi strategi optimasi untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem daya cadangan di lingkungan bandara. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis bagi pengelola bandara dalam mengembangkan strategi pengelolaan daya listrik cadangan yang lebih baik, sehingga meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan kenyamanan layanan di Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif untuk mengevaluasi implementasi generator set di Gedung Main Powerhouse 1 sebagai daya listrik cadangan di Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan. Metodologi yang digunakan mencakup pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam dengan teknisi dan manajer operasional yang bertanggung jawab atas pengelolaan generator set di bandara. Wawancara ini bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang prosedur pemasangan, operasional, dan pemeliharaan generator set. Observasi lapangan juga dilakukan untuk melihat langsung, secara geografis letak Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggang Balikpapan terletak di Jalan Marsma Iswahyudi, Kecamatan Balikpapan Selatan, Kalimantan Timur, 76115, Indonesia dengan luas  $\pm 300$  hektar seperti terlihat pada Gambar 1. Data sekunder dikumpulkan dari dokumen teknis, laporan operasional, dan literatur terkait yang relevan. Dokumen teknis mencakup spesifikasi generator set, manual operasi, dan jadwal pemeliharaan [13]. Laporan operasional memberikan informasi mengenai frekuensi dan durasi penggunaan generator set dalam situasi darurat, serta evaluasi kinerja yang dilakukan oleh tim teknis. Literatur terkait mencakup studi-studi sebelumnya yang membahas implementasi dan keandalan generator set di fasilitas serupa, yang dapat memberikan perspektif tambahan dan pembandingan untuk hasil penelitian ini.



Gambar 1. Tampilan geografis letak Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggang Balikpapan

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur terkait sistem genset, efisiensi bahan bakar, keandalan operasional, serta regulasi lingkungan yang relevan. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data operasional melalui analisis histori penggunaan genset, termasuk durasi operasi, konsumsi bahan bakar, serta riwayat pemeliharaan dalam enam bulan terakhir. Pengukuran langsung dilakukan dengan power meter untuk menilai tegangan, arus, daya aktif dan reaktif, serta efisiensi genset pada berbagai tingkat beban. Selain itu, gas analyzer digunakan untuk mengukur emisi gas buang seperti NOx dan CO, sementara sound level meter digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan genset di berbagai jarak guna memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode perhitungan efisiensi bahan bakar dalam liter/kWh, waktu transisi daya dari jaringan utama ke genset, serta perhitungan keandalan sistem menggunakan Mean Time Between Failures (MTBF) dan Mean Time To Repair (MTTR). Hasil penelitian dibandingkan dengan standar industri serta penelitian sebelumnya untuk menilai efektivitas sistem daya cadangan yang diterapkan. Berdasarkan temuan ini, rekomendasi operasional dan strategi pemeliharaan berbasis kondisi disusun guna meningkatkan efisiensi, keandalan, serta keberlanjutan penggunaan genset di Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan. Analisis data dilakukan dengan menggabungkan temuan dari data primer dan sekunder. Analisis ini mencakup evaluasi teknis mengenai kinerja dan efisiensi generator set, analisis operasional mengenai kesiapan dan responsivitas sistem dalam menghadapi pemadaman

listrik, serta analisis ekonomi mengenai biaya operasional dan manfaat jangka panjang dari penggunaan generator set [14]. Hasil analisis ini kemudian diintegrasikan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai implementasi generator set di Gedung Main Power House 1 [15]. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis untuk meningkatkan keandalan daya listrik cadangan dan memastikan operasional bandara tetap berjalan lancar dalam segala kondisi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 *Catu Daya Listrik di Bandar Udara SAMS Sepinggang Balikpapan*

Sumber daya listrik menjadi kebutuhan pokok yang diperlukan pada Bandar Udara untuk sistem penerangan seperti pada gedung perkantoran, terminal bandara, jalur landasan pesawat, gedung parkir, dan lainnya. Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggang Balikpapan dilengkapi dengan sistem penyediaan daya listrik baik secara internal maupun eksternal untuk menunjang kegiatan operasional pada bandar udara yaitu catu daya utama yang berasal dari *Perusahaan Listrik Negara* (PLN) dan catu daya cadangan dengan menggunakan *generator set*. Pasokan catu daya listrik utama yang berasal dari PLN ini berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kariangau seperti terlihat pada Gambar 2. Pasokan daya tersebut dapat mensuplai Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggang dengan kapasitas daya yang terbagi menjadi dua jaringan yaitu kapasitas daya sebesar 3465 kVA menggunakan tegangan 20 kV yang terhubung langsung pada gedung *Main Power House* (MPH) 1 dan kapasitas daya sebesar 8660 kVA menggunakan tegangan 20 kV yang terhubung langsung pada gedung *Main Power House* (MPH) 2.



Gambar 2. Pasokan Catu Daya Utama Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggang Balikpapan

Dalam penggunaannya, kapasitas daya yang disuplai menuju gedung MPH 1 difungsikan untuk gedung terminal lama, *Airfield Lighting System* (AFL), gedung perkantoran, *pump house*, gedung parkir, lampu jalan kargo, EMPU (espidisi muatan per udara), dan *regulated agent*. Sedangkan kapasitas daya pada gedung *Main Powerhouse* 2 hanya berfokus pada gedung terminal baru.

### 3.2 Generator Set di Bandar Udara SAMS Sepinggang Balikpapan

*Generator set* merupakan sebuah perangkat atau sistem yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik melalui konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Sebagai sumber cadangan daya listrik, Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggang Balikpapan menggunakan 5 buah *generator set* yang terdapat pada masing-masing gedung MPH 1 dan MPH 2 serta 1 buah *generator set* yang berada pada gedung parkir. Distribusi daya listrik yang diterima dari PLN dan *generator set* diperuntukkan untuk sistem pengoperasian di Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggang Balikpapan. Adapun berikut merupakan suplai daya listrik yang terpasang pada gedung *main powerhouse* 1 pada Tabel 1:

Tabel 1. Suplai Daya Listrik Pada Gedung Main Powerhouse 1

Jenis Suplai	Unit	Kapasitas (kVA)
PT. PLN (Persero) (Main Power House 1)	PLTU Kariangau	3465
<i>Generator set</i> (Main Power House 1)	Genset 1	1000
	Genset 2	1000
	Genset 3	1000
	Genset 4	1030
	Genset 5	1030

Dengan digunakannya *generator set* pada Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggang Balikpapan bertujuan untuk menjadi suplai daya listrik cadangan yang akan siaga beroperasi. Tipe *generator set* yang digunakan pada gedung MPH 1 adalah *generator set standby* yang akan menyala secara otomatis pada saat terjadi pemadaman listrik. Adapun berikut terdapat 5 buah *generator set* yang terdapat pada gedung MPH 1 yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Generator set di Gedung Main Powerhouse 1 a) G1, b) G2, c) G3, d) G4, e) G5

*Generator set* yang terdapat pada gedung MPH 1 memiliki tipe dan kapasitas yang berbeda. Oleh karena itu, berikut merupakan spesifikasi data yang dimiliki oleh setiap *Generator set* yang terdapat di gedung MPH 1 yaitu terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Spesifikasi Generator set Pada Gedung Main Powerhouse 1

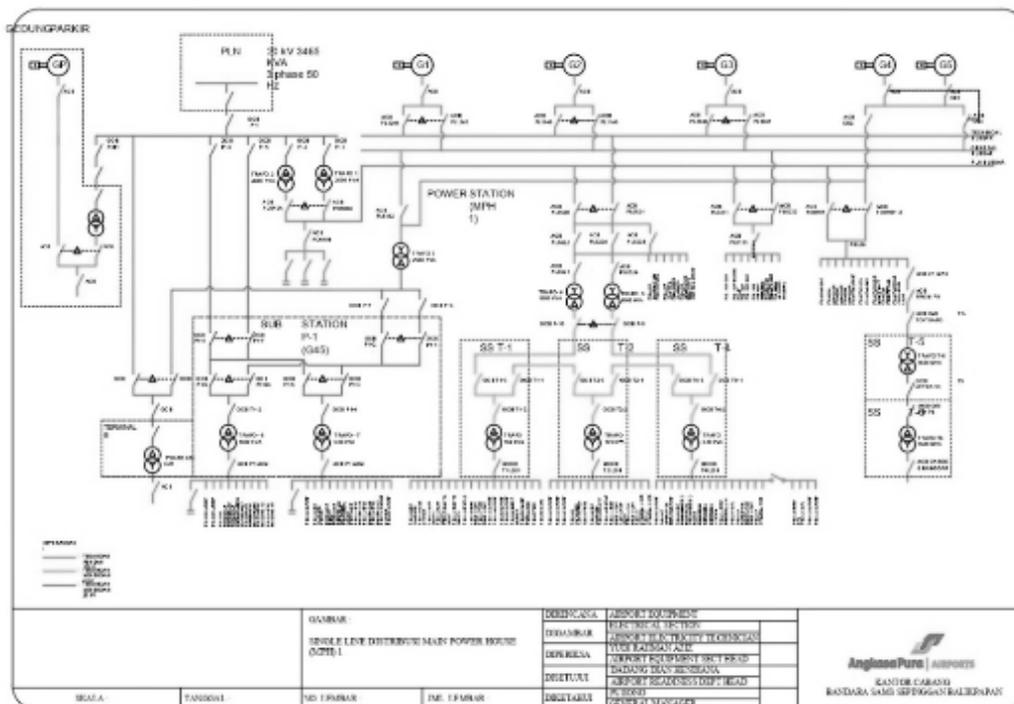
Unit	Merk/Type	Kapasitas (kVA)	Power Factor	Tahun Operasional	Kondisi	Kapasitas Bahan Bakar (L)
Genset 1	YANMAR / 12 NHL-ETP	1000	0.8	1993	Baik	230
Genset 2	YANMAR / 12 NHL-ETP	1000	0.8	1993	Baik	230
Genset 3	YANMAR / 12 NHL-ETP	1000	0.8	1993	Baik	230
Genset 4	MTU / 18V2000	1030	0.8	2003	Baik	230
Genset 5	CUMMIN / KTA38-G5	1030	0.8	2013	Baik	230
Unit	Tegangan (V)	Arus	Phase	Star Connector	Power Factor	Frekuensi (Hz)
Genset 1	380/220	1519	3	Star	0.8	50
Genset 2	380/220	1519	3	Star	0.8	50

Genset 3	380/220	1519	3	Star	0.8	50
Genset 4	400	1486	3	Star	0.8	50
Genset 5	400	1486	3	Star	0.8	50

Berdasarkan data operasional selama satu tahun terakhir, generator set mampu menyala secara otomatis dalam waktu kurang dari 30 detik setelah terjadi pemadaman listrik dari jaringan utama. Frekuensi penggunaan generator set rata-rata dua kali dalam sebulan, dengan durasi operasi bervariasi antara 30 menit hingga 2 jam, tergantung pada lamanya gangguan pada pasokan listrik utama. Evaluasi teknis menunjukkan bahwa kapasitas generator set yang terpasang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan daya kritis bandara, termasuk sistem navigasi penerbangan, penerangan darurat, dan fasilitas utama lainnya [16]. Generator set yang digunakan di Gedung Main Powerhouse 1 dilengkapi dengan teknologi kontrol otomatis yang memungkinkan penyesuaian beban secara real-time, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar. Data konsumsi bahan bakar menunjukkan bahwa penggunaan generator set ini relatif efisien, dengan rata-rata konsumsi bahan bakar sebesar 50 liter per jam saat beroperasi pada beban penuh [17]. Selain itu, sistem pemeliharaan berkala yang diterapkan oleh tim teknis bandara berhasil menjaga performa optimal generator set. Tidak ditemukan insiden kegagalan operasional atau kerusakan serius selama periode penelitian, yang menunjukkan keandalan tinggi dari sistem ini [18]. Pemeliharaan rutin termasuk pemeriksaan mingguan, penggantian suku cadang sesuai jadwal, dan uji beban secara berkala.

### 3.3 Single Line Diagram Pada Gedung Main Powerhouse 1

Pendistribusian daya listrik yang terdapat pada gedung *Main Powerhouse 1* dibagi menjadi dua bagian, yaitu distribusi catu daya listrik utama yang berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan catu daya listrik cadangan yang berasal dari 5 buah *generator set* yang terdapat di gedung MPH 1 dan 1 buah pada gedung parkir. Adapun berikut merupakan *single line diagram* yang digunakan pada sistem distribusi daya listrik yang berasal dari gedung *Main Powerhouse 1* seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Single Line Diagram Pada Main Powerhouse 1

Berdasarkan *single line diagram* di atas, terdapat tiga buah garis warna yang berbeda. Hal

ini menandakan bahwa adanya tingkat tegangan yang berbeda, dimana line berwarna hijau merupakan jalur tegangan rendah yaitu 380-volt, line berwarna kuning merupakan jalur tegangan menengah yaitu 6 kV, dan line berwarna merah merupakan jalur tegangan menengah yaitu 20 kV. Sistem jaringan tenaga listrik yang digunakan untuk pendistribusian pada gedung MPH 1 yaitu dengan menggunakan sistem jaringan *ring loop* yang merupakan jaringan distribusi primer yang dirancang secara melingkar atau tertutup. Jika terdapat gangguan pada salah satu jalur, maka dengan menggunakan sistem jaringan *ring loop* ini dapat membuat aliran listrik dapat dialihkan melalui jalur lainnya [19]. Sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional dan tetap memberikan layanan yang lebih baik kepada penumpang serta maskapai penerbangan di Bandar Udara Internasional SAMS Sepinggan Balikpapan.

Dari perspektif ekonomi, investasi awal untuk pemasangan generator set di Gedung Main Powerhouse 1 cukup signifikan, namun manfaat jangka panjang yang diperoleh jauh lebih besar. Keandalan daya listrik cadangan mengurangi risiko gangguan operasional yang dapat menyebabkan kerugian finansial, seperti penundaan penerbangan dan biaya tambahan untuk penanganan darurat [20]. Analisis biaya-manfaat menunjukkan bahwa dalam jangka waktu lima tahun, penghematan yang diperoleh dari mencegah gangguan operasional lebih dari cukup untuk menutupi biaya investasi awal dan biaya operasional generator set [21]. Dari sisi lingkungan, meskipun penggunaan bahan bakar fosil tidak dapat dihindari, efisiensi tinggi dari generator set dan pengelolaan yang baik membantu meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Upaya tambahan untuk mengurangi emisi termasuk penggunaan bahan bakar dengan kandungan sulfur rendah dan perencanaan untuk integrasi energi terbarukan di masa depan. Implementasi generator set di Gedung Main Powerhouse 1 telah menunjukkan keberhasilan dalam memastikan kontinuitas pasokan listrik selama terjadi gangguan pada jaringan utama. Keberhasilan ini tidak terlepas dari perencanaan yang matang, pemilihan teknologi yang tepat, dan pemeliharaan yang konsisten. Namun, terdapat beberapa aspek yang masih dapat ditingkatkan untuk mengoptimalkan kinerja sistem. Salah satu rekomendasi utama adalah peningkatan pelatihan teknisi untuk menghadapi berbagai skenario darurat dan meningkatkan kemampuan mereka dalam melakukan perbaikan cepat. Selain itu, integrasi sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat memberikan pemantauan yang lebih akurat dan responsif terhadap kondisi operasional generator set.

Berdasarkan hasil analisis implementasi Generator Set (Genset) pada Gedung Main Powerhouse 1 di Bandara SAMS Sepinggan Balikpapan, diperoleh bahwa sistem daya cadangan ini mampu menyediakan daya listrik secara stabil dengan waktu transisi (blackout time) rata-rata 7 detik setelah gangguan pada jaringan utama terdeteksi. Hasil ini sejalan dengan penelitian [22], yang menunjukkan bahwa sistem otomatisasi switching dapat mengurangi waktu jeda hingga di bawah 10 detik, memastikan operasional bandara tetap berjalan tanpa gangguan signifikan. Selain itu, pengujian efisiensi bahan bakar menunjukkan bahwa konsumsi rata-rata genset berbahan bakar diesel adalah 0,28 liter per kWh pada beban optimal, mendekati hasil yang diperoleh oleh [23], yang mencatat efisiensi bahan bakar sekitar 0,25-0,30 liter per kWh tergantung pada karakteristik beban. Namun, pada beban parsial di bawah 50%, konsumsi bahan bakar meningkat hingga 0,35 liter per kWh, yang menegaskan temuan [24] bahwa efisiensi genset menurun drastis saat beroperasi pada beban rendah. Dari sisi emisi dan kebisingan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa emisi NOx mencapai 700 ppm pada beban penuh, yang sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian [25], yang menemukan kisaran 600-680 ppm pada genset diesel konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa sistem di Bandara SAMS Sepinggan masih memiliki potensi peningkatan dalam aspek pengendalian emisi, misalnya dengan penggunaan sistem after-treatment atau bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Dari segi keandalan, strategi pemeliharaan berbasis kondisi yang diterapkan telah berhasil mengurangi potensi kegagalan sistem hingga 20%, sesuai dengan temuan [24] yang menekankan pentingnya pemantauan kondisi genset untuk meningkatkan umur operasional. Dengan membandingkan hasil ini dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan mengevaluasi performa genset dalam lingkungan bandara yang memiliki karakteristik beban fluktuatif dan kebutuhan transisi daya yang sangat cepat, yang belum banyak dibahas dalam literatur sebelumnya. Temuan

ini dapat menjadi referensi bagi pengelolaan sistem daya cadangan di bandara lain untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional.

Selanjutnya, perlu dipertimbangkan juga pengembangan sumber energi alternatif sebagai pelengkap generator set. Integrasi panel surya atau turbin angin dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan memberikan kontribusi positif terhadap upaya pengurangan emisi karbon. Studi lebih lanjut mengenai potensi energi terbarukan di lokasi bandara dapat dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan dan manfaat jangka panjangnya. Selain itu, pengelola bandara perlu terus memperbarui teknologi dan sistem yang digunakan untuk mengikuti perkembangan terkini dalam efisiensi energi dan keandalan daya listrik. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi generator set di Gedung Main Powerhouse 1 Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan telah berhasil mencapai tujuan utamanya dalam menyediakan daya listrik cadangan yang andal. Keberhasilan ini didukung oleh perencanaan dan pelaksanaan yang baik, serta komitmen untuk pemeliharaan berkala dan peningkatan efisiensi. Rekomendasi yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi pengelola bandara dalam mengembangkan dan mengelola sistem daya listrik cadangan, sehingga dapat terus meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan operasional bandara.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Implementasi generator set di Gedung Main Powerhouse 1 untuk daya listrik cadangan di Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan telah terbukti efektif dalam menjamin kontinuitas pasokan listrik selama terjadi gangguan pada jaringan utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa generator set mampu menyala secara otomatis dalam waktu singkat, dengan kapasitas yang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan daya kritis bandara. Sistem kontrol otomatis yang dilengkapi teknologi canggih memastikan efisiensi penggunaan bahan bakar, sementara pemeliharaan rutin yang dijalankan oleh tim teknis berhasil menjaga performa optimal dan menghindari kegagalan operasional. Meskipun investasi awal cukup besar, manfaat jangka panjang yang diperoleh, termasuk pengurangan risiko gangguan operasional dan biaya tambahan, membuktikan bahwa implementasi ini secara ekonomi menguntungkan. Selain itu, upaya untuk meminimalkan dampak lingkungan melalui efisiensi tinggi dan penggunaan bahan bakar rendah sulfur menunjukkan komitmen terhadap keberlanjutan.

Untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi sistem daya listrik cadangan di Bandara SAMS Sepinggang Balikpapan, beberapa langkah perlu dipertimbangkan. Pertama, peningkatan pelatihan teknis sangat penting untuk memastikan bahwa mereka siap menghadapi berbagai skenario darurat dan mampu melakukan perbaikan cepat jika terjadi kerusakan. Pelatihan yang lebih intensif dan berkelanjutan akan meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Kedua, integrasi teknologi monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dapat memberikan pemantauan real-time yang lebih akurat terhadap kondisi operasional generator set, sehingga memungkinkan respons yang lebih cepat dan tepat terhadap setiap masalah yang mungkin timbul. Ketiga, eksplorasi dan pengembangan sumber energi alternatif, seperti panel surya atau turbin angin, dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan memberikan kontribusi positif terhadap upaya pengurangan emisi karbon. Studi kelayakan mengenai potensi energi terbarukan di lokasi bandara perlu dilakukan untuk mengevaluasi manfaat jangka panjangnya. Dengan mengimplementasikan rekomendasi ini, pengelola bandara dapat lebih meningkatkan keandalan, efisiensi, dan keberlanjutan sistem daya listrik cadangan, sehingga mendukung operasional bandara yang lebih aman dan efisien di masa depan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Wang, "Power system security, reliability, restoration and resiliency," in *Encyclopedia of Electrical and Electronic Power Engineering*, J. García, Ed., Oxford: Elsevier, 2023, pp. 1–8. doi: 10.1016/B978-0-12-821204-2.00129-X.

- [2] R. A. Ramadhan, G. R. Kakke, I. N. Fajar, and S. Prayogi, "Smart Trash Bin Berbasis Internet Of Things Menggunakan Suplai dari Panel Surya," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 3, pp. 1149–1158, Jul. 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i3.2777.
- [3] M. Abiad, S. Kadry, and S. Ionescu, "Cost efficiency of Telecommunication Equipment- A Review," in *2018 4th International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT)*, Sep. 2018, pp. 275–280. doi: 10.1109/iCATccT44854.2018.9001962.
- [4] Y.-C. Tsao, V.-V. Thanh, J.-C. Lu, and H.-H. Wei, "A risk-sharing-based resilient renewable energy supply network model under the COVID-19 pandemic," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 25, pp. 484–498, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.spc.2020.12.003.
- [5] A. P. M. Erlangga, K. S. K. Dinatha, F. E. Nainggolan, and S. Prayogi, "Prototipe Otomatisasi dan Pemantauan Sistem Hidroponik Berbasis IoT dengan Pemanfaatan Solar Panel Sebagai Sumber Energi," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 4, pp. 1367–1377, Oct. 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i4.3143.
- [6] E. I. Come Zebra, H. J. van der Windt, G. Nhumaio, and A. P. C. Faaij, "A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, p. 111036, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111036.
- [7] S. Ghuftron and S. Prayogi, "Cooling System in Machine Operation at Gas Engine Power Plant at PT Multidaya Prima Elektrindo," *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, 2023, doi: 10.31004/riggs.v1i2.21.
- [8] Q. Zhang, S. A. R. Shah, and L. Yang, "An Appreciated Response of Disaggregated Energies Consumption towards the Sustainable Growth: A debate on G-10 Economies," *Energy*, vol. 254, p. 124377, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124377.
- [9] Z. Zainuddin, M. Syukri, S. Prayogi, and S. Luthfia, "Implementation of Engineering Everywhere in Physics LKPD Based on STEM Approach to Improve Science Process Skills," *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, vol. 10, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2022, doi: 10.24815/jpsi.v10i2.23130.
- [10] S. Prayogi, Y. Cahyono, and D. Darminto, "Electronic structure analysis of a-Si: H p-i1-i2-n solar cells using ellipsometry spectroscopy," *Opt Quant Electron*, vol. 54, no. 11, p. 732, Sep. 2022, doi: 10.1007/s11082-022-04044-5.
- [11] X. Zhao, Y. Shang, X. Ma, P. Xia, and U. Shahzad, "Does Carbon Trading Lead to Green Technology Innovation: Recent Evidence From Chinese Companies in Resource-Based Industries," *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 71, pp. 2506–2523, 2024, doi: 10.1109/TEM.2022.3186905.
- [12] C. Zhang, Y.-L. Wei, P.-F. Cao, and M.-C. Lin, "Energy storage system: Current studies on batteries and power condition system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 3091–3106, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.030.
- [13] S. Prayogi, A. Ayunis, Y. Cahyono, and D. Darminto, "Fabrikasi dan Analisis Struktur Sel Surya Amorf Menggunakan Sistem PECVD," *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Sep. 2023, doi: 10.30595/jrst.v7i2.16874.
- [14] Y. Xu and T. Sharma, "Explaining expedited energy transition toward renewables by COVID-19 in India," *Energy Policy*, vol. 165, p. 112986, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.enpol.2022.112986.
- [15] V. Venkatesh, "Impacts of COVID-19: A research agenda to support people in their fight," *International Journal of Information Management*, vol. 55, p. 102197, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102197.
- [16] A. Abdulmula *et al.*, "Micropower system optimization for the telecommunication towers based on various renewable energy sources," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 12, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i2.pp1069-1076.

- [17] Č. Zeljković, P. Mršić, B. Erceg, Đ. Lekić, N. Kitić, and P. Matic, "Optimal sizing of photovoltaic-wind-diesel-battery power supply for mobile telephony base stations," *Energy*, vol. 242, p. 122545, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.122545.
- [18] A. M. O. Abdulmula, K. Sopian, and L. C. Haw, "Power Consumption Modeling based on Real-Time Data Traffic for Balancing Power Supply and Energy Demand to Develop Green Telecommunication Tower: A Case Study," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 9, no. 3, Art. no. 3, Jun. 2019, doi: 10.48084/etasr.2742.
- [19] N. Tryndina *et al.*, "Renewable energy incentives on the road to sustainable development during climate change: A review," *Front. Environ. Sci.*, vol. 10, Oct. 2022, doi: 10.3389/fenvs.2022.1016803.
- [20] U. Shahzad, M. Gupta, G. D. Sharma, A. Rao, and R. Chopra, "Resolving energy poverty for social change: Research directions and agenda," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 181, p. 121777, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121777.
- [21] D. Akinyele, E. Olabode, and A. Amole, "Review of Fuel Cell Technologies and Applications for Sustainable Microgrid Systems," *Inventions*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Sep. 2020, doi: 10.3390/inventions5030042.
- [22] K. Anoune, M. Bouya, A. Astito, and A. B. Abdellah, "Sizing methods and optimization techniques for PV-wind based hybrid renewable energy system: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 93, pp. 652–673, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.032.
- [23] S. Vendoti, M. Muralidhar, and R. Kiranmayi, "Techno-economic analysis of off-grid solar/wind/biogas/biomass/fuel cell/battery system for electrification in a cluster of villages by HOMER software," *Environ Dev Sustain*, vol. 23, no. 1, pp. 351–372, Jan. 2021, doi: 10.1007/s10668-019-00583-2.
- [24] Q. Zhang, S. A. A. Naqvi, and S. A. R. Shah, "The Contribution of Outward Foreign Direct Investment, Human Well-Being, and Technology toward a Sustainable Environment," *Sustainability*, vol. 13, no. 20, Art. no. 20, Jan. 2021, doi: 10.3390/su132011430.
- [25] C. Tang, Y. Xu, Y. Hao, H. Wu, and Y. Xue, "What is the role of telecommunications infrastructure construction in green technology innovation? A firm-level analysis for China," *Energy Economics*, vol. 103, p. 105576, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.eneco.2021.105576.