Jurnal Riset Multidisiplin Edukasi
https://journal.hasbaedukasi.co.id/index.php/jurmie
Halaman : 177-206

ANALISA KEANDALAN SISTEM CATU DAYA GEDUNG TOWER

Afan Setiawan
Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
Email: avansetiawan02@gmail.com

Informasi

Volume : 3
Nomor : 11
Bulan : November
Tahun : 2026
E-ISSN : 3062-9624

Abstract

The reliability of the tower building power supply system is a crucial factor in ensuring the safety and continuity of air navigation services, particularly communication facilities that are required to achieve a minimum availability level of 99.999% in accordance with CASR 171. The main problem addressed in this study is how to maintain this level of availability and identify the factors affecting the reliability of the tower building electrical power supply system. This study aims to analyze the existing power supply system configuration, identify potential points of failure, and evaluate its compliance with national and international standards. The research methodology includes documentation studies, field observations, and technical analysis of both the main and backup power supply systems in several tower buildings, with the JATSC tower serving as the case study. The results indicate that achieving 99.999% availability can only be supported through the implementation of a layered and redundant power supply system with a fault-tolerant Tier IV topology. The conclusions emphasize the importance of national standardization of tower building power supply system configurations. It is recommended that the implementation of Tier IV topology be carried out gradually across all tower buildings in Indonesia to enhance reliability, safety, and operational efficiency in aviation services.

Keyword: *99.999% Availability; CASR 171; Power supply system reliability; Tier IV topology; Tower building.*

Abstrak

Keandalan sistem catu daya gedung tower merupakan faktor krusial dalam menjamin keselamatan dan kontinuitas pelayanan navigasi penerbangan, khususnya fasilitas communication yang dipersyaratkan memiliki tingkat availability minimum sebesar 99,999% sesuai ketentuan CASR 171. Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana mempertahankan tingkat availability tersebut serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keandalan sistem catu daya kelistrikan gedung tower. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konfigurasi sistem catu daya eksisting, mengidentifikasi potensi titik kegagalan, serta mengevaluasi kesesuaiannya terhadap standar nasional dan internasional. Metode penelitian dilakukan melalui studi dokumentasi, observasi lapangan, serta analisis teknis terhadap sistem catu daya utama dan cadangan pada beberapa gedung tower, dengan fokus pada implementasi sistem di JATSC sebagai studi kasus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencapaian availability 99,999% hanya dapat didukung melalui penerapan sistem catu daya berlapis dan redundan dengan topologi Tier IV yang bersifat fault tolerant. Kesimpulan penelitian ini menegaskan pentingnya standardisasi konfigurasi sistem catu daya gedung tower secara nasional. Disarankan agar penerapan topologi Tier IV diimplementasikan secara bertahap pada seluruh gedung tower di Indonesia guna meningkatkan keandalan, keselamatan, dan efisiensi operasional penerbangan.

Kata Kunci : *Availability 99,999%; CASR 171; Gedung tower; Keandalan sistem catu daya; Topologi Tier IV.*

A. PENDAHULUAN

Keandalan sistem catu daya merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam menjamin keselamatan operasional layanan navigasi penerbangan, khususnya pada fasilitas kritikal seperti fasilitas *Communication, Navigation, Surveillance, Data Processing* (CNSD) serta infrastruktur pendukungnya. Keandalan Sistem catu daya tidak hanya dituntut mampu menyediakan energi listrik secara kontinu, tetapi juga harus dirancang untuk tetap beroperasi secara stabil saat terjadi gangguan, kegagalan komponen, maupun pemadaman sumber catu daya utama. (Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5-Electrical Systems, 2017) Oleh karena itu, CASR 171 (Menteri Perhubungan, n.d.) dan PR 35 Tahun 2025 menetapkan tingkat availability sistem minimun untuk pelayanan *Communication* pada gedung Tower sebesar 99,999% (*five nines*) menjadi persyaratan mutlak, guna memastikan bahwa layanan keselamatan penerbangan tanpa interupsi yang berpotensi menimbulkan risiko operasional penerbangan.

Pencapaian availability sebesar 99,999% mengimplikasikan bahwa sistem catu daya hanya diperbolehkan mengalami *downtime* selama 5 menit dalam satu tahun operasi. Hal ini menuntut penerapan arsitektur sistem catu daya kelistrikan yang berlapis dan redundan, yang mencakup keandalan sumber daya utama, sistem catu daya cadangan, pemeliharaan terjadwal, serta mekanisme pemindahan beban (*switching*) yang cepat dan andal. (Home » Artikel » Five Nines Availability: Kunci Kinerja Layanan Tanpa Henti, n.d.) Integrasi antara pasokan listrik utama, *Uninterruptible Power Supply* (UPS), dan genset juga harus dirancang sedemikian rupa sehingga kegagalan pada satu elemen pada komponen catu daya tidak menyebabkan terhentinya suplai daya ke peralatan kritikal seperti fasilitas komunikasi, navigasi, pengamatan dan data prosesing.

Standar tersebut menekankan pentingnya kualitas daya, kecepatan respons sistem cadangan, serta prosedur pemeliharaan dan pengujian berkala sebagai bagian dari manajemen keandalan. Dengan demikian, keandalan sistem catu daya tidak hanya ditentukan oleh spesifikasi teknis peralatan, tetapi juga oleh desain sistem secara keseluruhan, strategi redundansi, serta tata kelola operasional yang konsisten. Pemenuhan availability 99,999% menjadi indikator bahwa sistem catu daya harus memenuhi tingkat keselamatan, keandalan, dan kontinuitas layanan yang dipersyaratkan untuk mendukung operasional penerbangan secara aman dan berkelanjutan.(Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5-Electrical Systems, 2017)

Sampai dengan saat ini, mengacu pada laporan gangguan sistem catu daya kelistrikan pada Lasimi, masih ditemukan berbagai permasalahan pada sistem catu daya gedung tower, seperti pemadaman listrik/*blackout*, keterbatasan konfigurasi cadangan, ketidaksesuaian kapasitas peralatan dengan beban aktual, serta waktu perpindahan (*switching*) yang belum optimal antara sumber daya utama dan sumber daya darurat. Kondisi ini berpotensi menurunkan tingkat availability fasilitas hingga berada di bawah ambang 99,999%, yang pada akhirnya dapat berdampak pada terganggunya kontinuitas layanan komunikasi dan meningkatnya risiko keselamatan operasional dalam penyelenggaraan pelayanan navigasi penerbangan.

No	ID GANGGUAN	LOKASI	FASILITAS	NAMA PERALATAN	NAMA SUB PERALATAN	WAKTU AWAL GANGGUAN	WAKTU SELESAI GANGGUAN
1	8874	Semarang	Support	UPS ONLINE GEDUNG TOWER	UPS ONLINE GEDUNG TOWER	6 Desember 2025 pukul 05.59	6 Desember 2025 pukul 23.09
2	8867	Banda Aceh	Support	Genset OPEN Gedung Radar No. 2	ENGINE	27 November 2025 pukul 13.00	--
3	8797	Sabang	Support	Genset SILENT Tower	ENGINE	29 Oktober 2025 pukul 13.30	--
4	8827	Sentani	Support	MDP GEDUNG MER	SDP 2 UPS GEDUNG MER	19 Oktober 2025 pukul 07.27	30 Oktober 2025 pukul 23.45
5	8860	Palembang	Support	UPS ONLINE RDARA	UPS ONLINE RDARA	12 Agustus 2025 pukul 14.55	28 November 2025 pukul 23.00
6	8625	Bandar Lampung	Support	GENSET OPEN DVOR	GENSET OPEN DVOR	3 Agustus 2025 pukul 05.00	7 Agustus 2025 pukul 16.30
7	8595	Tanjungpinang	Support	UPS ONLINE GEDUNG RADAR	UPS ONLINE GEDUNG RADAR	11 Juli 2025 pukul 06.00	--
8	8816	Timika	Support	UPS ONLINE GEDUNG RADAR	UPS ONLINE GEDUNG RADAR	24 Juni 2025 pukul 09.56	5 November 2025 pukul 18.00
9	8537	JATSC	Support	UPS ONLINE 02 - GD. 612 JATSC NO 2	UPS 2 - 200 kVA GD. 612 JATSC	19 Juni 2025 pukul 00.00	--
10	8506	Palembang	Support	UPS ONLINE RDPS	UPS ONLINE RDPS	4 Juni 2025 pukul 13.00	--
11	8467	Pangkalan Bun	Support	UPS ONLINE VHF ER 2	UPS ONLINE VHF ER 2	3 Juni 2025 pukul 09.00	--
12	8295	Tanjung Pandan	Support	UPS Online Localizer	UPS Online LOCALIZER	8 Maret 2025 pukul 01.00	2 April 2025 pukul 01.00
13	8225	Padang	Support	TRAFO TM Step Down Gedung Radar MSSR	TRAFO TM Step Down Gedung Radar MSSR	8 Februari 2025 pukul 03.55	7 Maret 2025 pukul 09.37
14	8257	Palu	Support	UPS ONLINE RADAR Donggala	UPS ONLINE RADAR DONGGALA	7 Februari 2025 pukul 15.22	10 Maret 2025 pukul 02.30
15	8063	Balikpapan	Support	Genset Open Radar 100KVA	ENGINE	25 Januari 2025 pukul 15.00	26 Januari 2025 pukul 14.30
16	8428	Tambolaka	Support	GENSET OPEN GEDUNG DVOR 16 KVA	GENSET	18 Januari 2025 pukul 10.30	30 Mei 2025 pukul 09.09
17	8427	Tambolaka	Support	GENSET OPEN GEDUNG DVOR 16 KVA	GENSET	18 Januari 2025 pukul 09.30	30 Mei 2025 pukul 08.10
18	8258	MATSC	Support	GENSET SILENT MATSC NO. 1 (G. UTILITY)	ALTERNATOR GENSET SILENT MATSC NO. 1	12 Januari 2025 pukul 15.31	7 Maret 2025 pukul 06.15
19	8196	Banjarmasin	Support	GENSET OPEN GEDUNG RADAR	ENGINE GENSET GEDUNG RADAR	11 Januari 2025 pukul 03.20	--

Gambar 1. 1 Data laporan gangguan fasilitas Airnav 2025

(Sumber: https://lasimi.airnavindonesia.co.id/master/gangguan)

Dari gambar 1.1 diatas disampaikan bahwa dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember 2025 menunjukkan terdapat lebih dari 15 (lima belas) gangguan daya listrik yang mengakibatkan sistem peralatan navigasi mati lebih dari 10 (sepuluh) detik, di lebih dari 13 (tiga belas) bandara yang berbeda, hal ini menunjukkan bahwa keandalan sistem kelistrikan saat ini masih belum sepenuhnya mendukung tingkat availability sistem minimun sebesar 99,999% (*five nines*). (Home » Artikel » Five Nines Availability: Kunci Kinerja Layanan Tanpa Henti, n.d.)

Berdasarkan kondisi tersebut, analisa keandalan sistem catu daya gedung tower menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa sistem yang ada harus mendukung operasional secara berkelanjutan (*continuity)*, aman (*safety*), efisien serta mendukung tingkat *availability* sebesar 99,999%. Melalui analisa ini, dapat diidentifikasi tingkat keandalan sistem, potensi titik kegagalan, serta kebutuhan peningkatan atau pengembangan sistem catu daya yang lebih optimal. Hasil analisa diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan, pengambilan keputusan teknis, dan peningkatan standar keandalan sistem catu daya guna mendukung

availability, menambah umur ekonomis dan mengoptimalkan layanan fasilitas navigasi penerbangan secara maksimal.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kombinasi kualitatif dan kuantitatif (mixed methods) dengan metode deskriptif analitis yang dilaksanakan pada periode Oktober 2025 hingga Januari 2026 setelah seminar proposal skripsi. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk memperoleh dan menganalisis data kondisi eksisting sistem catu daya utama pada Gedung Tower Jakarta Air Traffic Services Center (JATSC), dengan memanfaatkan data Laporan Singkat Mingguan (LASIMI) AirNav Indonesia sebagai sumber informasi mengenai kondisi operasional, tingkat kesiapan fasilitas, keandalan, serta potensi gangguan pada fasilitas Communication, Navigation, Surveillance, and Automation (CNSA) dan fasilitas pendukung lainnya.

Pendekatan kualitatif dilakukan melalui wawancara dengan Supervisor Teknisi Penunjang AirNav Indonesia Kantor Cabang JATSC serta observasi langsung terhadap konfigurasi sistem catu daya listrik, meliputi sumber pasokan listrik utama, jalur distribusi daya, sistem proteksi, sistem monitoring, karakteristik beban peralatan communication, serta sistem redundansi catu daya yang terdiri atas Uninterruptible Power Supply (UPS) dan generator set (genset). Lokasi penelitian dipilih pada Gedung Tower JATSC karena merupakan fasilitas operasional kritikal yang membutuhkan pasokan listrik stabil, kontinu, dan berkesinambungan untuk menjamin kelancaran pelayanan navigasi penerbangan, sekaligus dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem catu daya gedung tower di Indonesia.

Penelitian ini secara khusus dibatasi pada fasilitas communication yang berada di Gedung Tower JATSC, dengan mempertimbangkan keterbatasan waktu dan ruang lingkup penelitian, sehingga fasilitas navigation, surveillance, dan fasilitas pendukung lainnya tidak dianalisis secara mendalam. Data penelitian terdiri atas data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui informasi fasilitas dari LASIMI, wawancara dengan personel teknis terkait konfigurasi sistem catu daya eksisting, serta observasi lapangan terhadap topologi jaringan kelistrikan hingga ke beban peralatan communication. Adapun data sekunder diperoleh dari dokumen teknis bandar udara, diagram kelistrikan, laporan gangguan, data log Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), literatur akademik, serta standar dan regulasi nasional maupun internasional yang relevan.

Seluruh data tersebut selanjutnya dianalisis dengan membandingkan kondisi eksisting sistem catu daya terhadap prinsip desain dan topologi Tier IV Uptime Institute, khususnya dari

aspek redundansi, fault tolerance, dan availability, dengan memperhatikan ketentuan ICAO Annex 10, ICAO Annex 14, ICAO Doc 9157 Part 5, TIA-942, standar IEEE, CASR 171, MOS-139, serta PUIL 2011. Matriks regulasi digunakan sebagai landasan untuk mengidentifikasi persyaratan teknis catu daya, sistem proteksi, kontinuitas pasokan listrik, dan tingkat ketersediaan fasilitas operasional penerbangan. Melalui tahapan pengumpulan, pengolahan, dan analisis data tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan gambaran komprehensif mengenai tingkat keandalan sistem catu daya listrik pada fasilitas communication Gedung Tower JATSC, mengevaluasi kesesuaiannya terhadap prinsip topologi Tier IV Uptime Institute, serta menilai kemampuan konfigurasi sistem dalam mendukung pencapaian target availability peralatan sebesar 99,999% sesuai dengan persyaratan regulasi CASR 171.

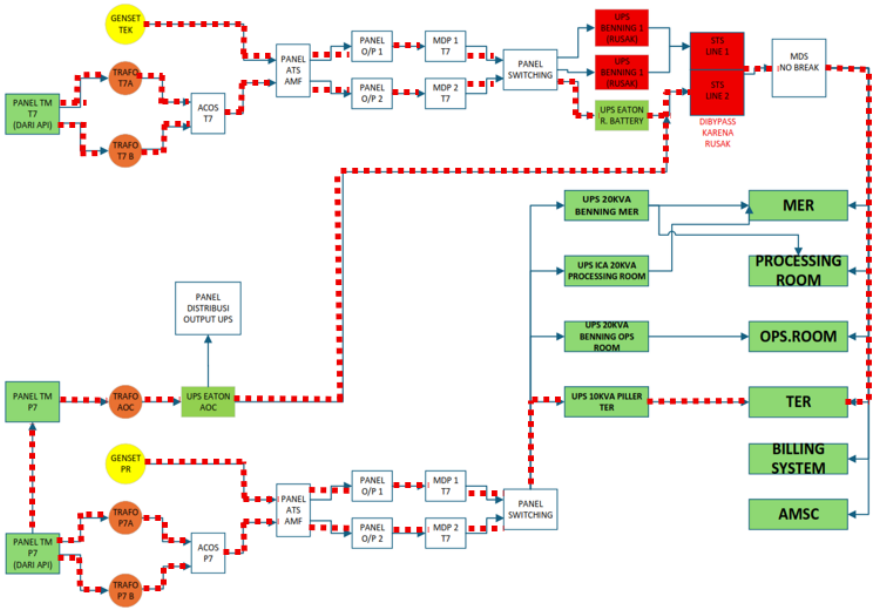
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi Jaringan Eksisting Gedung Tower

Salah satu fasilitas yang berpengaruh signifikan terhadap keandalan (*availability*) peralatan adalah konfigurasi jaringan sistem catu daya, mulai dari sumber pasokan kelistrikan hingga jaringan distribusinya. Berdasarkan hasil wawancara, sistem catu daya utama pada sebagian besar bandar udara masih menerapkan konfigurasi standar berupa suplai utama dari PLN/Angkasa pura/UPBU yang dipadukan dengan *Uninterruptible Power Supply* (UPS) dan generator set sebagai sumber daya cadangan. Konfigurasi ini pada prinsipnya telah memadai untuk mendukung operasional tower konvensional. Namun, jika dikaitkan dengan ketentuan ICAO Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5 – Electrical Systems (Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5-Electrical Systems, 2017) serta topologi sistem jaringan Tier IV dari Uptime Institute (*Uptime-Tier-Standard-Topology*, n.d.), sistem catu daya dituntut untuk tetap beroperasi secara stabil meskipun terjadi gangguan, kegagalan komponen, maupun pemadaman sumber catu daya utama. Oleh karena itu, penerapan skema redundansi seperti N+2 atau 2N menjadi krusial karena secara langsung meningkatkan tingkat availability, memastikan kontinuitas layanan tanpa jeda, serta meminimalkan risiko gangguan operasional pada fasilitas tower yang bersifat kritis terhadap keselamatan penerbangan.

Berikut adalah contoh sumber daya pada lokasi yang menerapkan sistem konfigurasi jaringan TIER 4 sesuai Uptime Institute (*Uptime-Tier-Standard-Topology*, n.d.):

1. **Gedung Tower Bandar Udara Soekarno Hatta – JATSC**



Gambar 4. 1 Blok Diagram Single Line JATSC

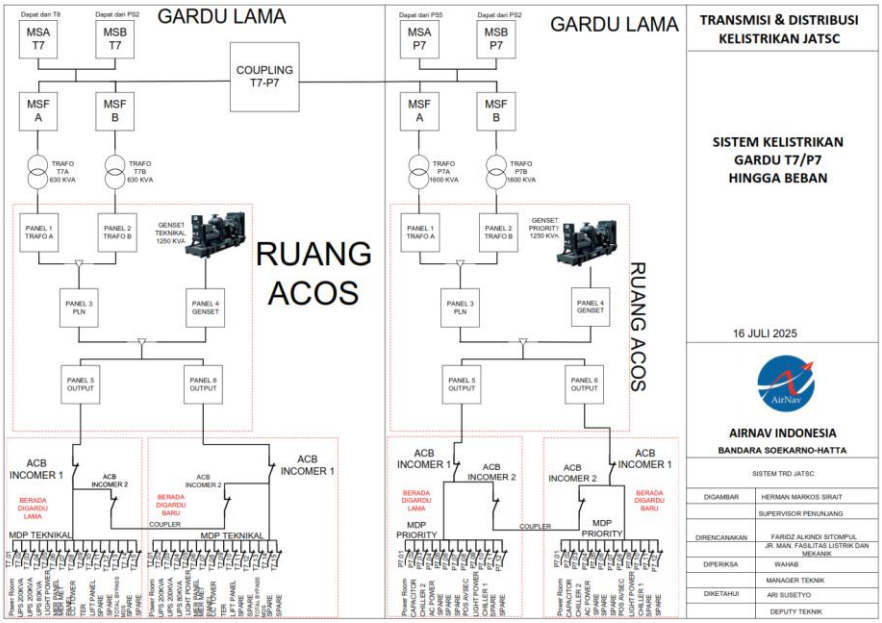
(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)

Sistem catu daya pada Tower Bandar Udara JATSC teruma pada Beban fasilitas *Communication Tower Equipment Room* (TER) dirancang dengan konsep redundansi dan keandalan tinggi untuk menjamin kontinuitas operasional layanan navigasi penerbangan dan availability minumum 99,999%. Pasokan listrik utama berasal dari jaringan PLN Angkasa Pura Indonesia (API) yang masuk melalui Panel Tegangan Menengah (TM) T7 dan P7, kemudian diturunkan tegangannya menggunakan transformator T7A - T7B dan P7A - P7B. Keberadaan dua transformator pada masing-masing jalur menunjukkan penerapan sistem *dual power supply* mengacu pada Doc 9157 part 5 (Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5-Electrical Systems, 2017) sebagai antisipasi apabila salah satu jalur mengalami gangguan. Setelah melalui transformator, daya listrik dikelola oleh ACOS (*Automatic Change Over Switch*) yang berfungsi memilih sumber daya secara otomatis antara suplai utama dan cadangan.

Sebagai sumber daya darurat, sistem ini dilengkapi dengan genset TEK dan genset PR yang terhubung ke Panel ATS/AMF, sehingga apabila pasokan dari PLN/Angkasa Pura terputus, sistem dapat secara otomatis beralih ke genset tanpa mengganggu operasional kritikal. Daya listrik kemudian didistribusikan melalui Panel Output 1 dan Panel Output 2 menuju *Main Distribution Panel* (MDP) T7, yang berperan sebagai pusat distribusi ke berbagai beban operasional. Selanjutnya, aliran daya diarahkan ke panel switching (STS) untuk mengatur pembagian beban dan pemilihan jalur suplai yang paling andal.

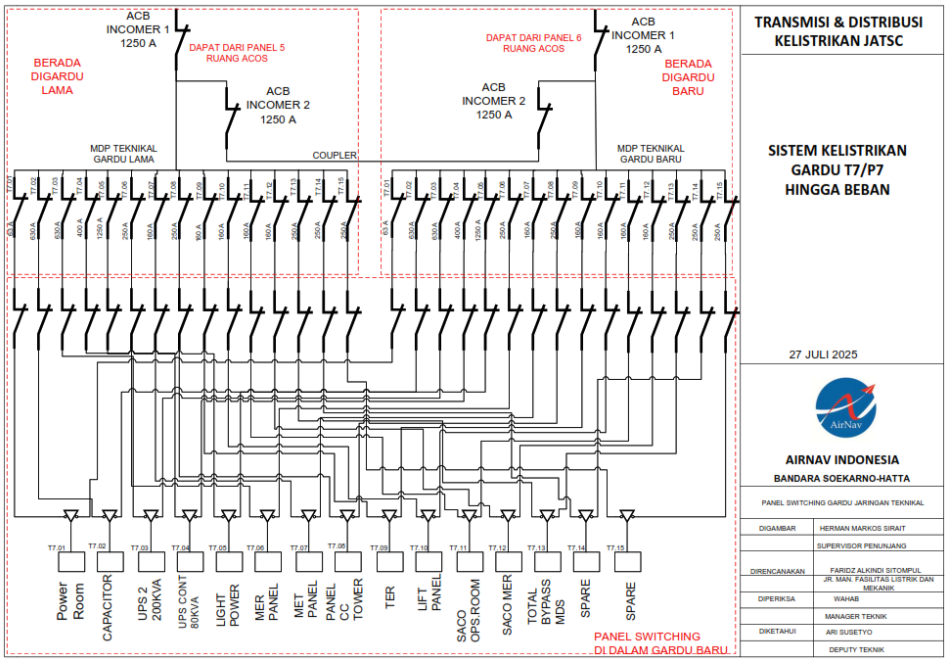
Untuk menjamin kestabilan tegangan dan kontinuitas suplai pada peralatan kritikal pada beban TER (*tower equipment room*) , sistem ini didukung oleh UPS Eaton, dan 10 KVA Piller, yang melayani beban penting fasilitas *communication* di *Tower Equipment Room* (TER) dan disupport oleh panel distribusi output UPS guna menciptakan sistem catu daya yang tidak terputus apabila terjadi gangguan atau pemeliharaan. Keberadaan *Static Transfer Switch* (STS) Line 1 dan Line 2 memungkinkan perpindahan sumber daya antar UPS secara cepat tanpa terputus (*no-break*), sehingga sistem komunikasi penerbangan tetap berjalan stabil.

Secara keseluruhan, blok diagram ini menggambarkan sistem catu daya terintegrasi dengan prinsip *reliability, redundancy, dan continuity of service* sesuai dengan ketentuan ICAO Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5 – Electrical Systems (Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5-Electrical Systems, 2017) serta topologi sistem jaringan Tier IV dari Uptime Institute (*Uptime-Tier-Standard-Topology*, n.d.), yang sangat krusial bagi operasional tower digital dan fasilitas pendukung navigasi penerbangan. Setiap komponen dirancang saling mendukung untuk meminimalkan risiko gangguan kelistrikan yang dapat berdampak langsung pada keselamatan lalu lintas udara dan pemenuhan availability peralatan communication sebesar 99,999% dari CASR 171 (Menteri Perhubungan, n.d.).



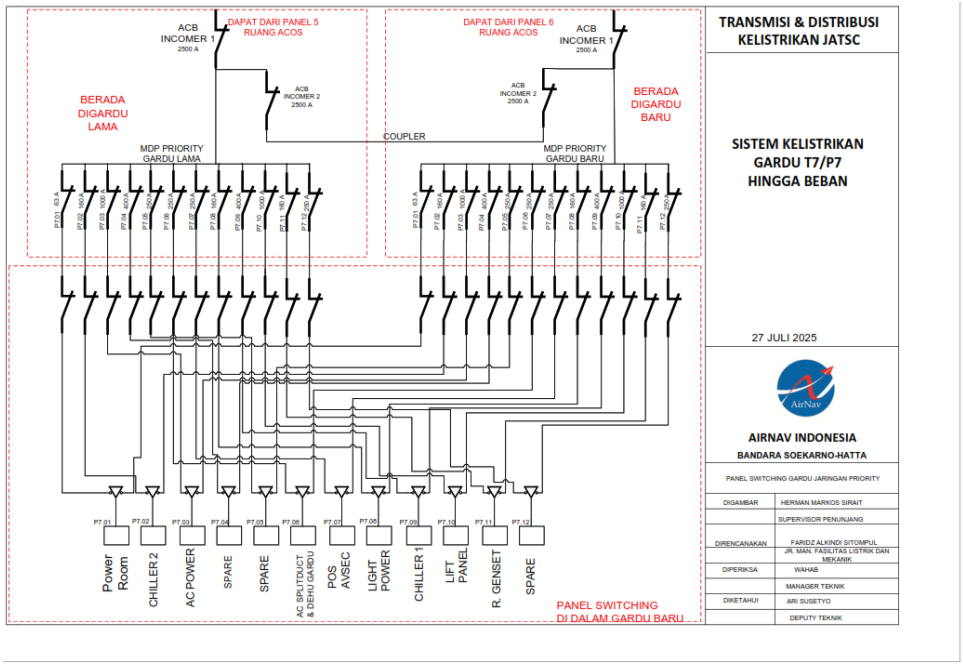
Gambar 4. 2 Blok Diagram Gardu T7/P7

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



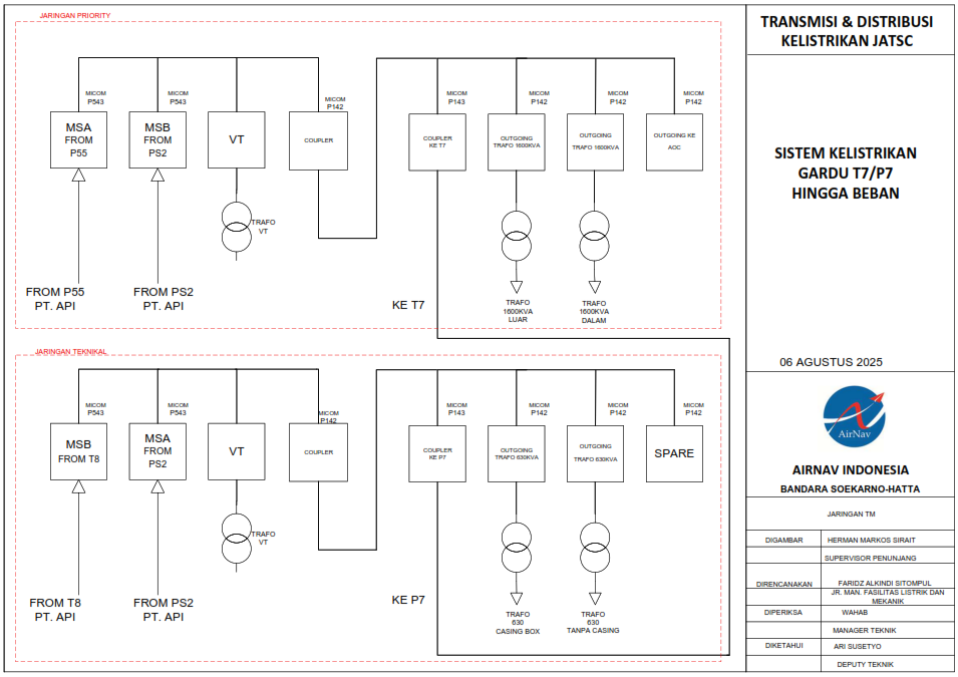
Gambar 4. 3 Blok Diagram Gardu Panel 5/6 ACOS

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



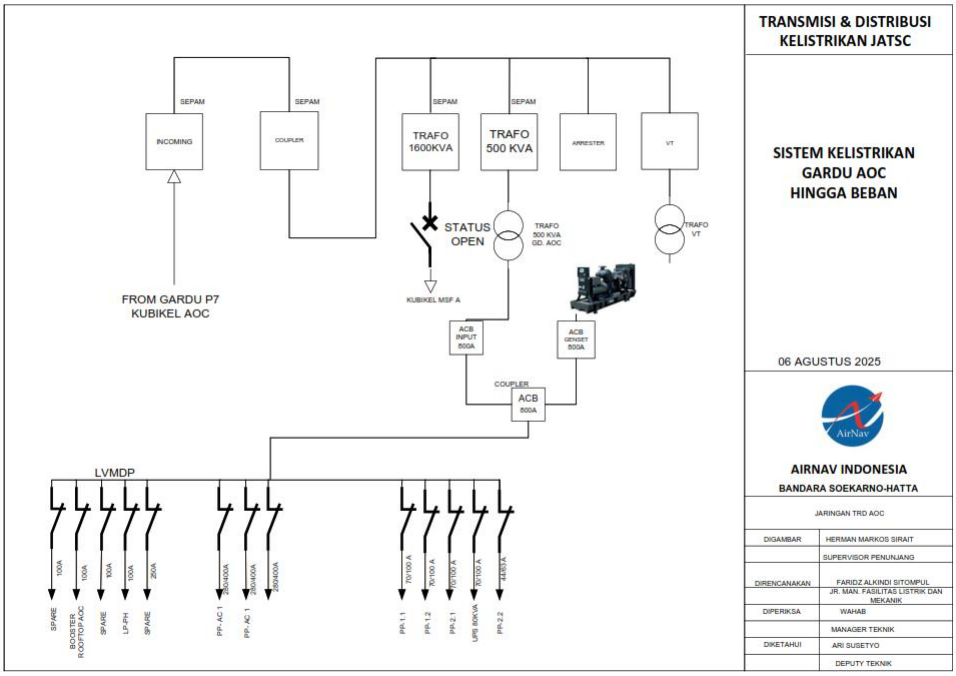
Gambar 4. 4 Blok Diagram Gardu Panel 5/6 ACOS

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



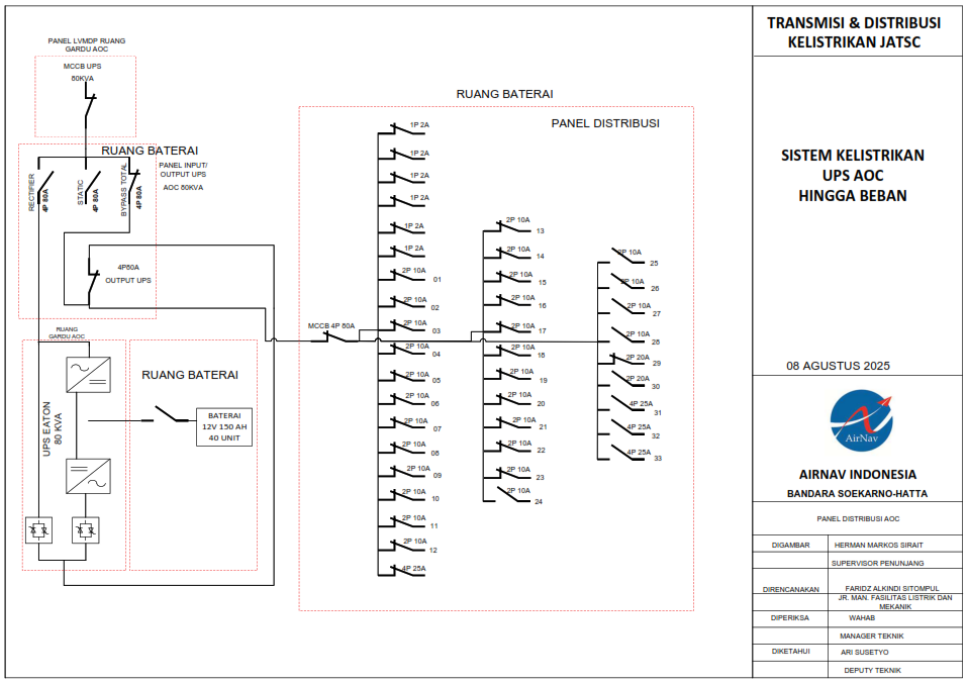
Gambar 4. 5 Blok Diagram Jaringan TM Priority dan Teknikal

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



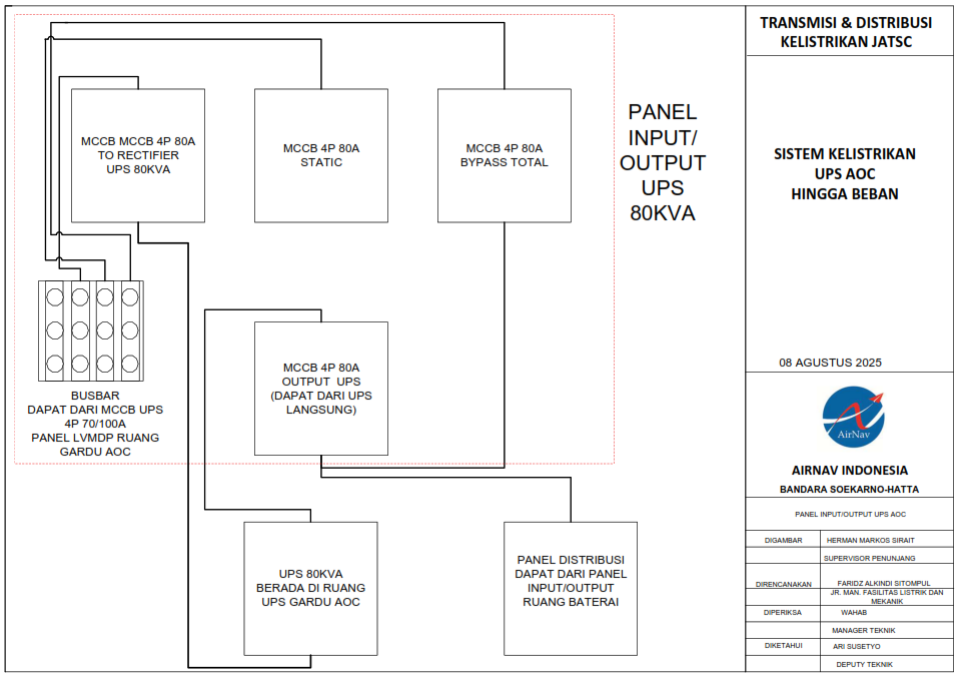
Gambar 4. 6 Blok Diagram Jaringan TRD AOC

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



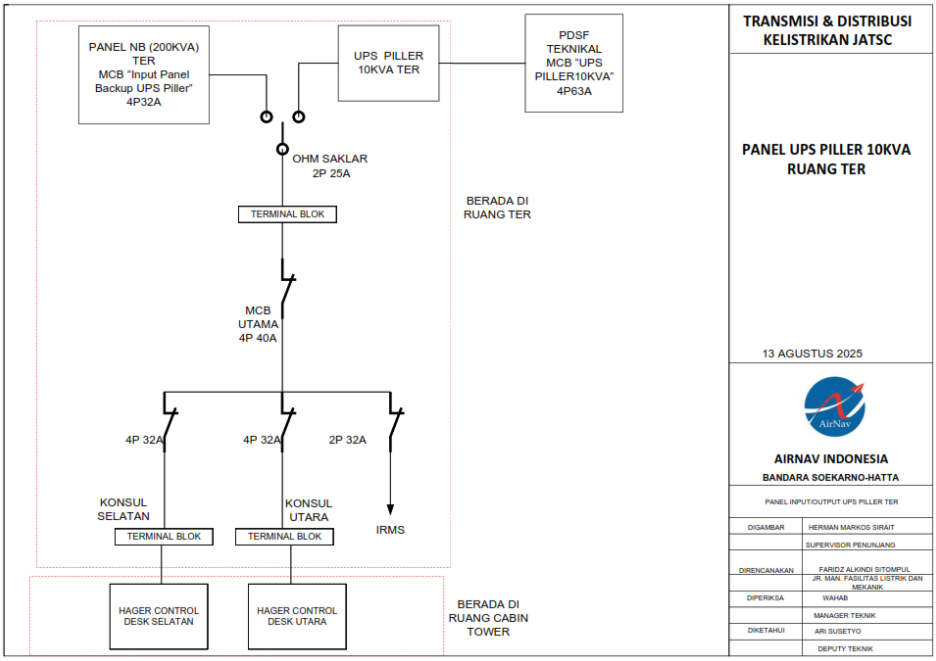
Gambar 4. 7 Blok Diagram Panel Distribusi UPS AOC

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



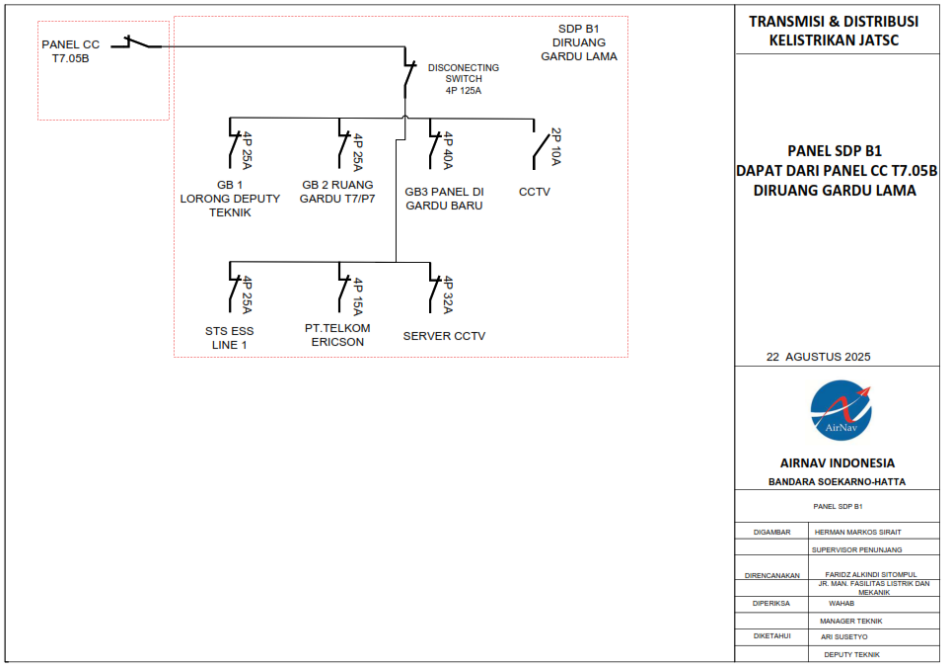
Gambar 4. 8 Blok Diagram Panel Distribusi I/O UPS AOC

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



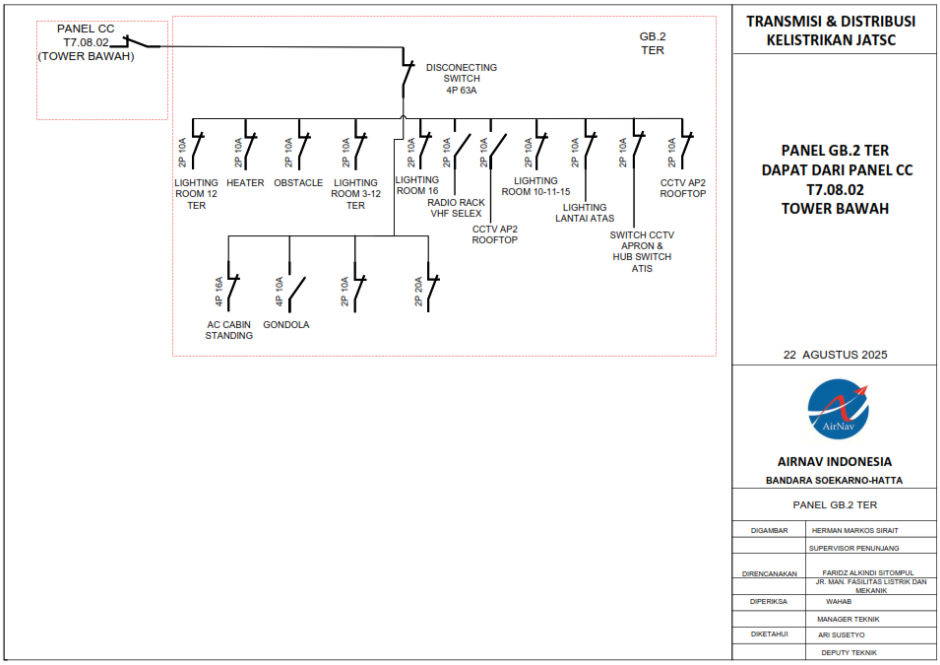
Gambar 4. 9 Blok Diagram Panel I/O UPS Piller

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



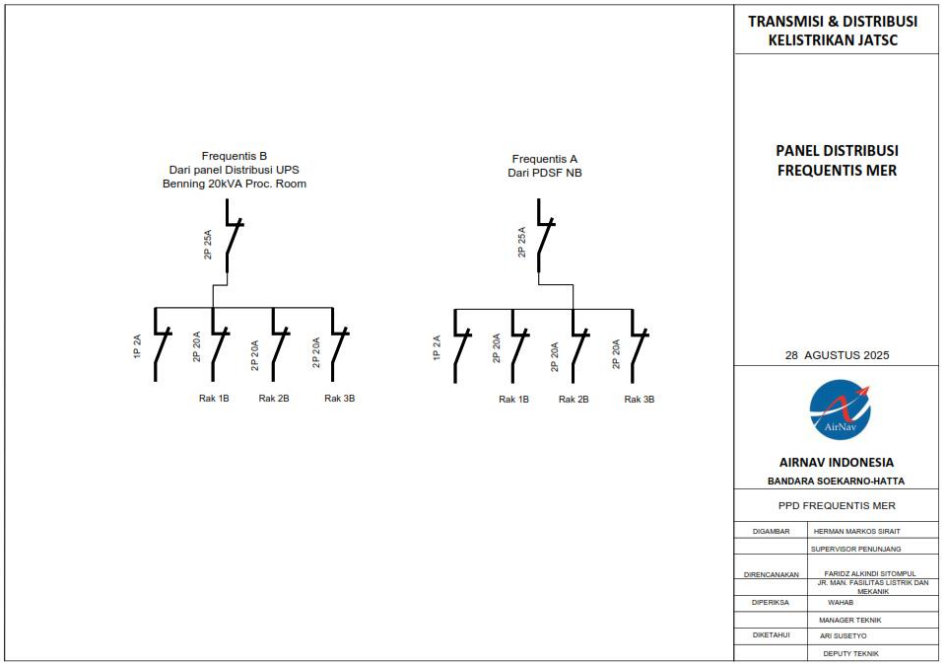
Gambar 4. 10 Blok Diagram Panel SDP B1

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



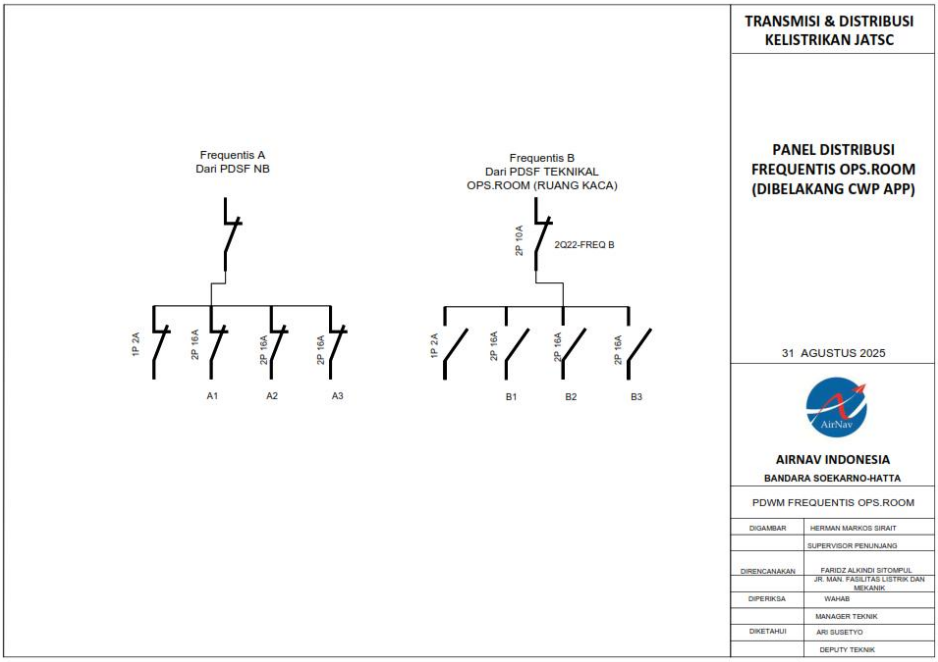
Gambar 4. 11 Blok Diagram GB2 Tower Bawah

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



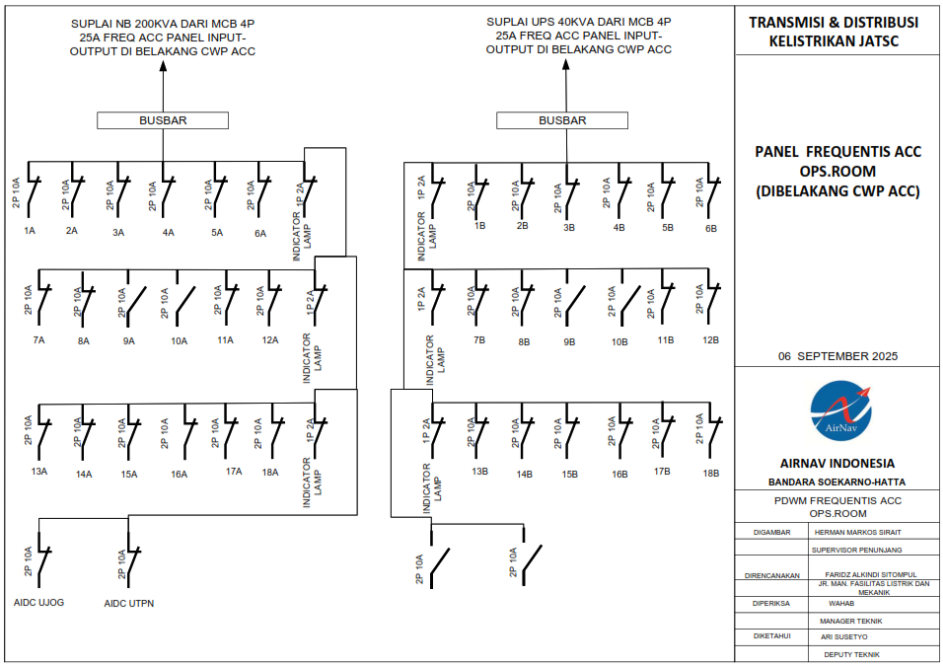
Gambar 4. 12 Blok Diagram Frequentis MER

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



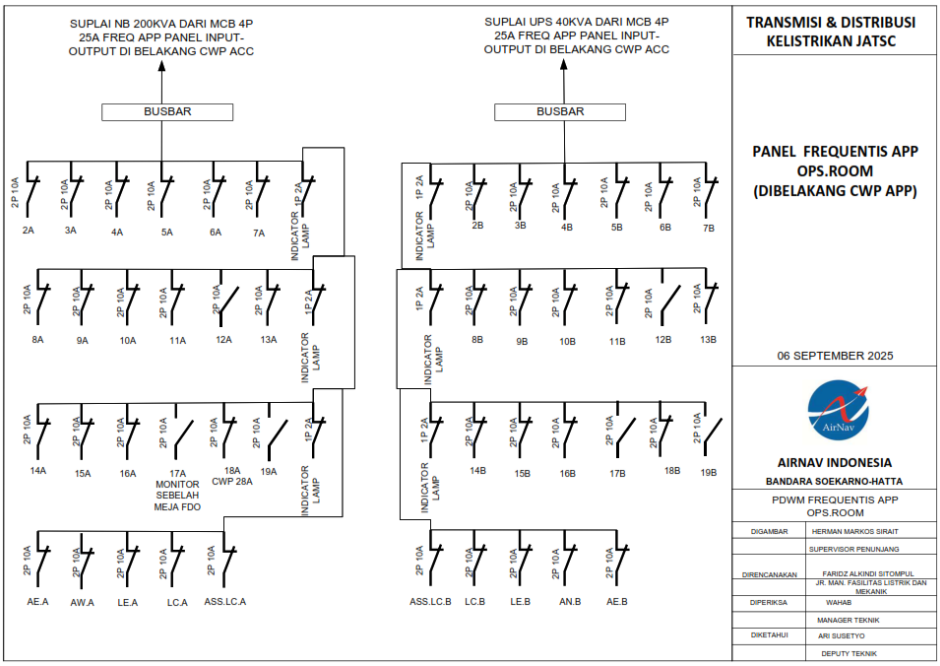
Gambar 4. 13 Blok Diagram Frequentis OPS.Room

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



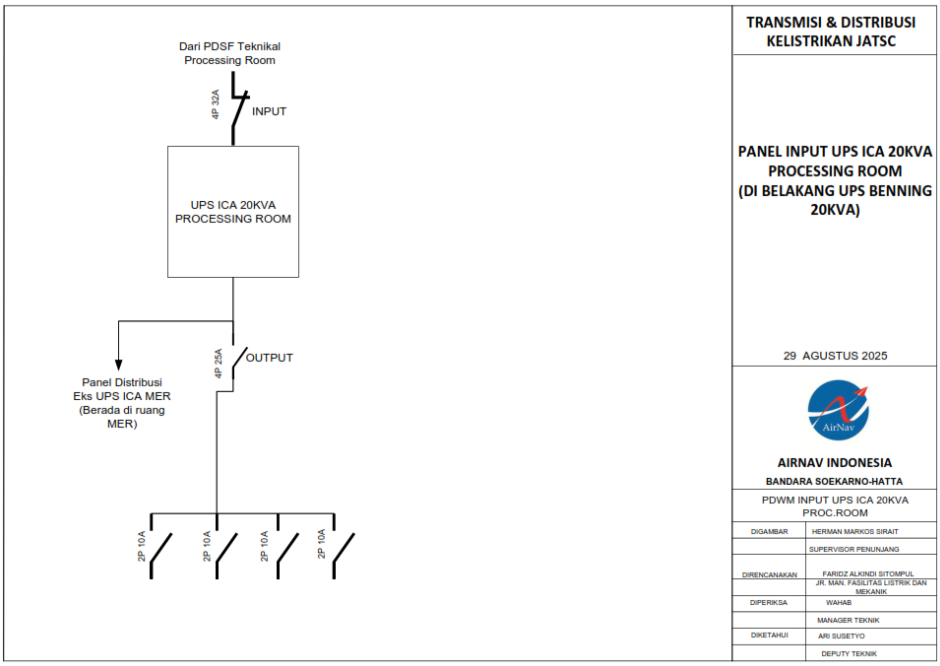
Gambar 4. 14 Blok Diagram Frequentis ACC OPS.Room

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



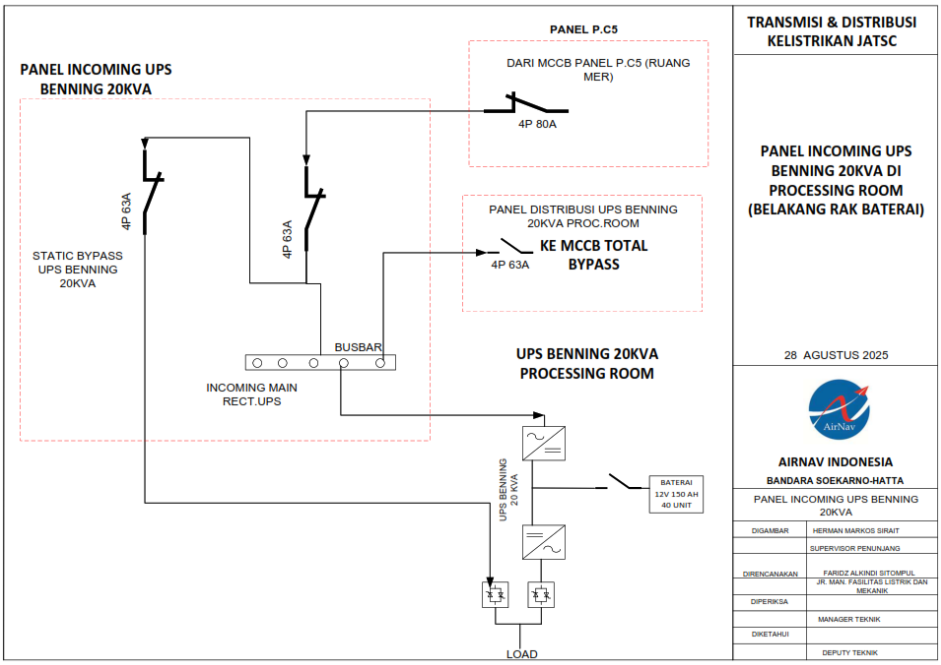
Gambar 4. 15 Blok Diagram Frequentis APP OPS.Room

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



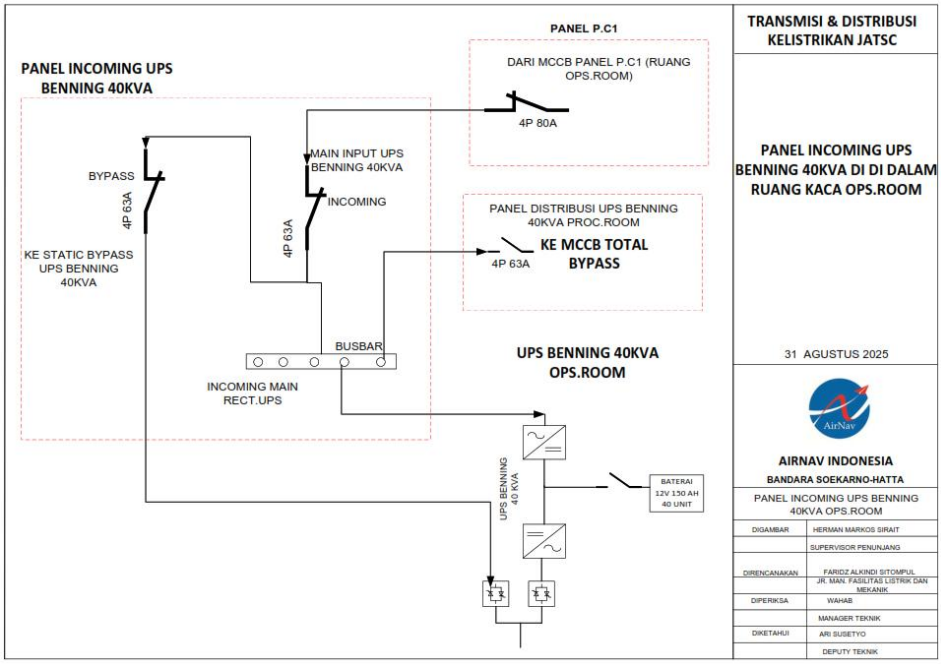
Gambar 4. 16 Blok Diagram Panel Input UPS ICA 20KVA Processing Room

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



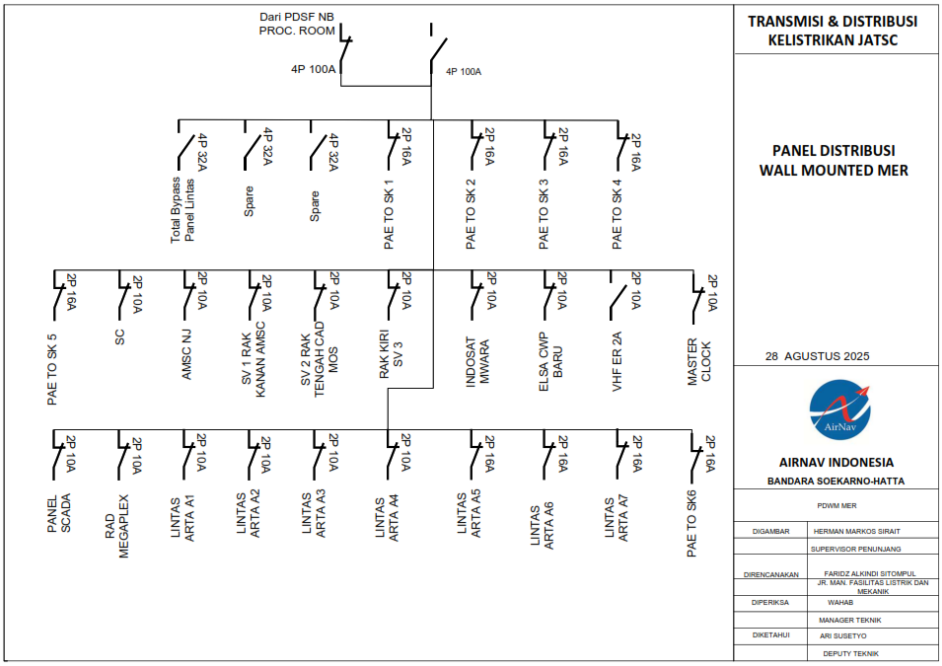
Gambar 4. 17 Blok Diagram Panel Input UPS Benning 20KVA Processing Room

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



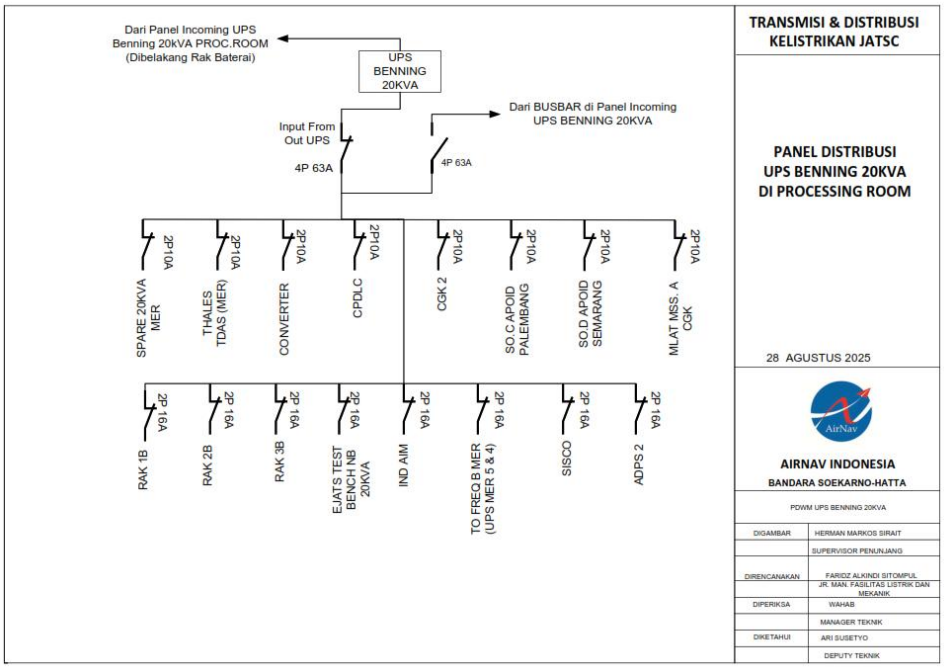
Gambar 4. 18 Blok Diagram Panel Incoming UPS Benning 40KVA

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



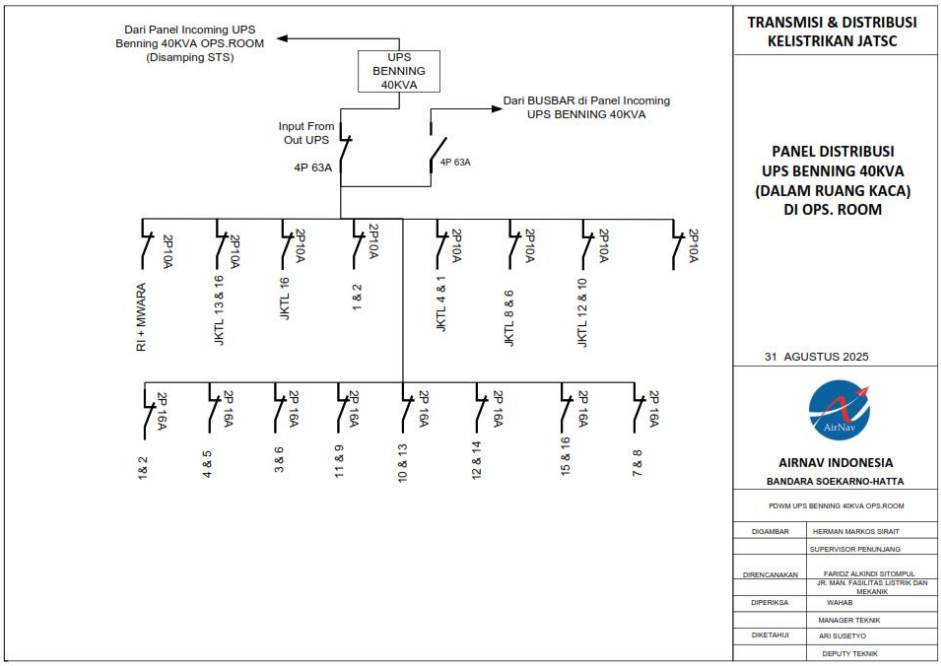
Gambar 4. 19 Blok Diagram Panel Distribusi MER

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



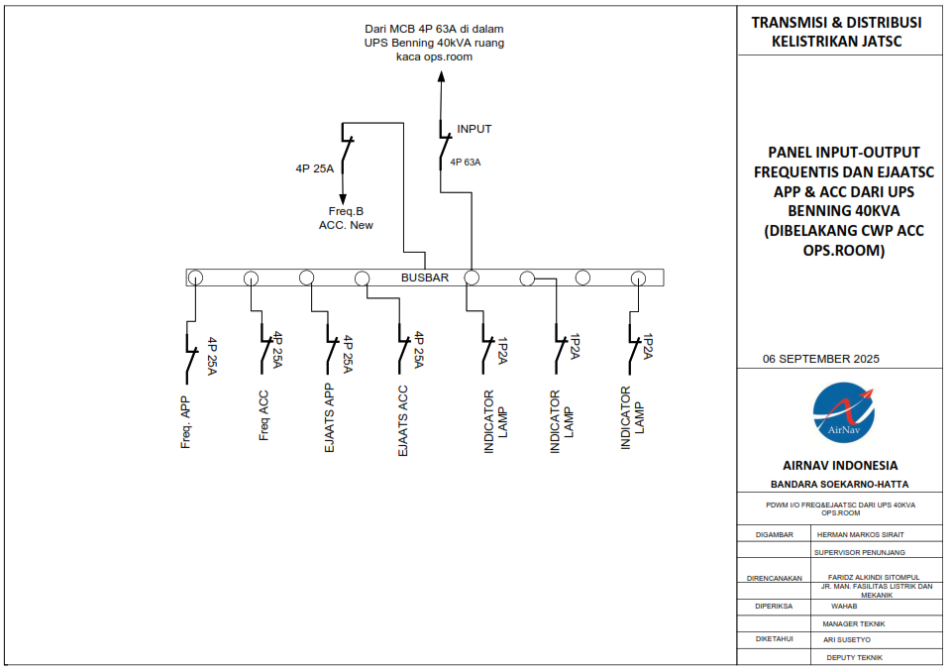
Gambar 4. 20 Blok Diagram PDWM UPS Benning 20 KVA

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



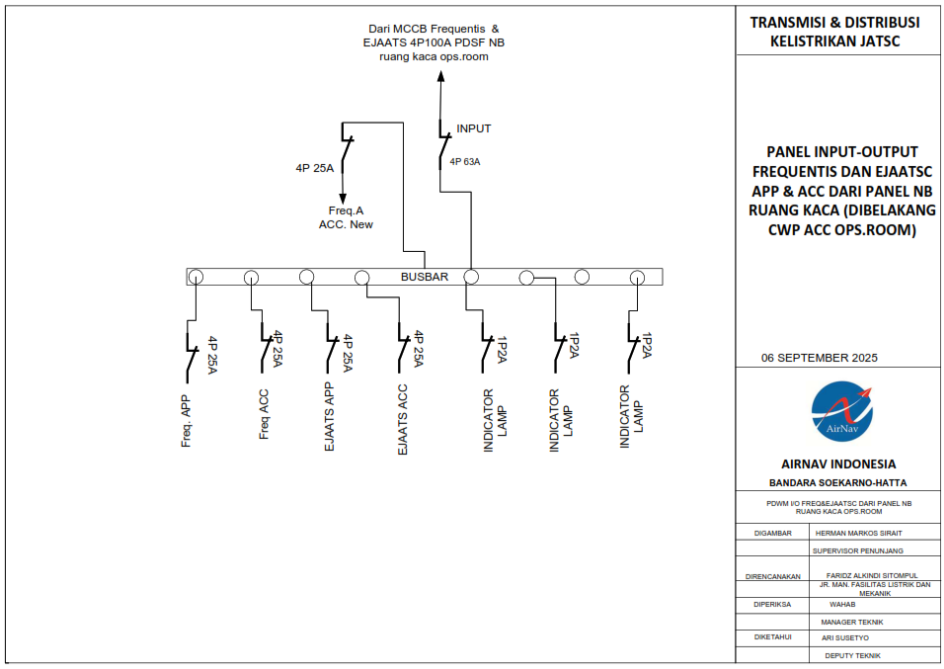
Gambar 4. 21 Blok Diagram Panel Distribusi UPS Benning 40 KVA

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



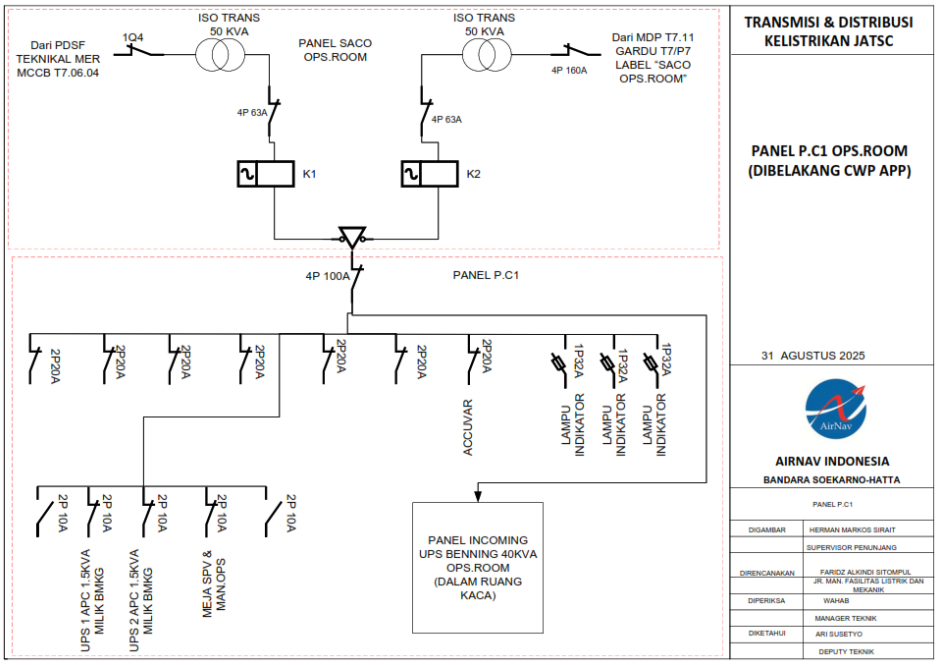
Gambar 4. 22 Blok Diagram Panel I/O Frequentis dan EJAATS APP dan ACC UPS BENNING 40KVA

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



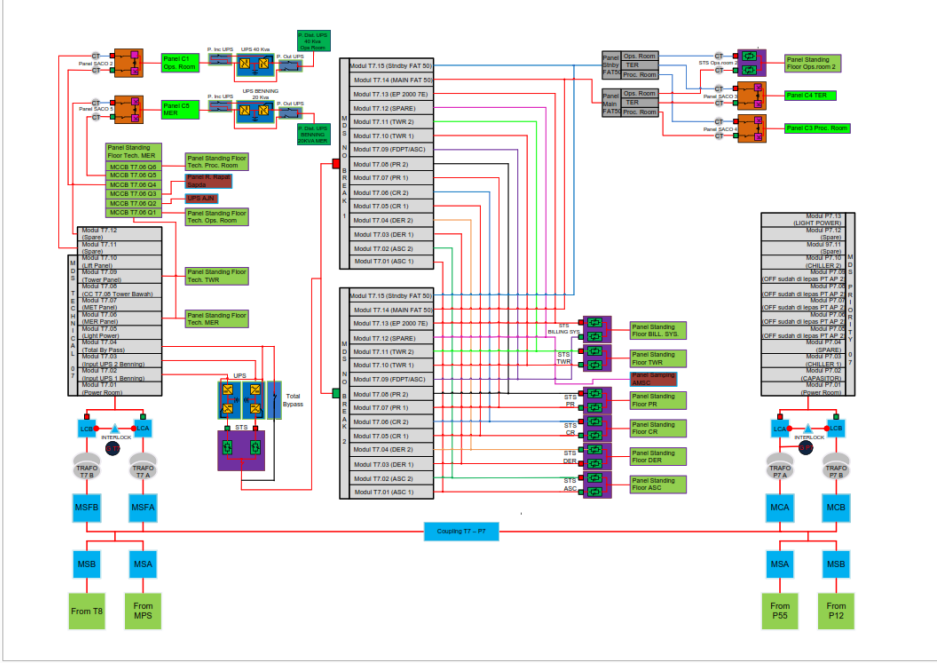
Gambar 4. 23 Blok Diagram Panel I/O Frequentis dan EJAATS APP dan ACC Panel NB

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



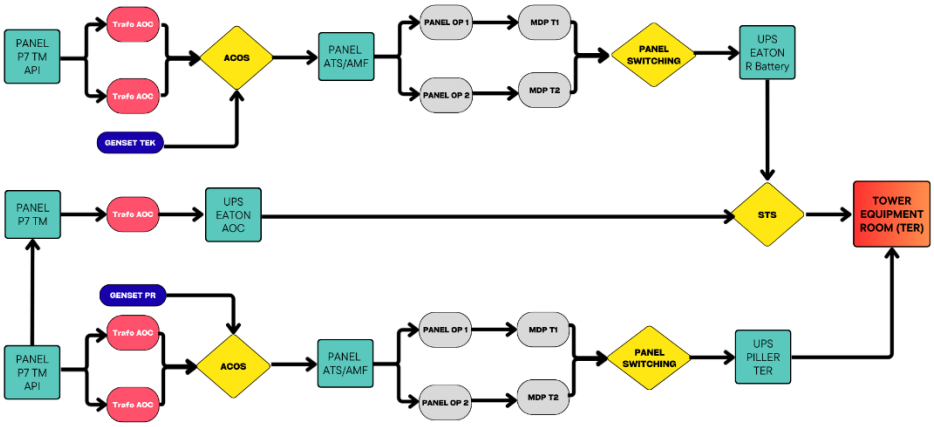
Gambar 4. 24 Blok Diagram Panel P.C1 OPS. Room

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



Gambar 4. 25 Blok Diagram Jaringan Distribusi Primer dan Sekunder

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)



Gambar 4. 26 Blok Diagram Jalur Kelistrikan TER

(Sumber: Laporan Teknisi JATSC)

Berdasarkan *Single Line Diagram* sistem kelistrikan Gardu T7/P7 hingga beban, sistem catu daya pada Tower Perum LPPNPI Kantor Cabang JATSC dirancang dengan arsitektur berlapis, redundan dan *dual path* sesuai dengan konfigurasi Doc 9157 part 5 (Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5-Electrical Systems, 2017). Pasokan utama berasal dari Angkasa Pura melalui dua gardu (T7 dan P7) dengan *dual feeder* yang masing-masing dilengkapi trafo paralel (A dan B). Kedua gardu ini dapat saling menopang melalui coupling T7–P7, sehingga apabila salah satu sisi mengalami gangguan, pasokan tetap dapat dialihkan tanpa

memutus suplai ke beban kritikal. Selain itu, tersedia genset kapasitas besar (±1250 kVA) sebagai sumber daya cadangan saat suplai PLN tidak tersedia.

Pada sisi distribusi, beban dipisahkan menjadi beban teknikal dan beban prioritas, dengan MDP teknikal dan MDP priority yang dilengkapi ACB incomer ganda. Untuk peralatan *commmuncation* pada *Tower Equipment Room* (TER), daya dilindungi oleh UPS (10 kVA Piller dan UPS Eaton) lengkap dengan static bypass dan total bypass, sehingga kontinuitas daya tetap terjaga saat transisi PLN dan genset maupun saat pemeliharaan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap keandalan dan konfigurasi sistem catu daya pada gedung tower JATSC, dapat disimpulkan bahwa keandalan sistem catu daya berada pada kategori sangat memadai terhadap pemenuhan tingkat *availability* peralatan *communication* sebesar 99,999%. Hal ini tercermin dari perencanaan dan konfigurasi sistem kelistrikan yang dirancang secara komprehensif, berlapis, redundansi, serta berorientasi pada keberlangsungan operasional dan perlindungan peralatan *communication*. Sistem tersebut telah selaras dengan ketentuan ICAO Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5 - *Electrical Systems* (Doc 9157 Aerodrome Design Manual Part 5-Electrical Systems, 2017) dan memenuhi karakteristik topologi Tier IV yang ditetapkan oleh Uptime Institute (*Uptime-Tier-Standard-Topology*, n.d.), yaitu memiliki redundansi penuh (2N atau N+2) pada sumber dan jalur distribusi daya, *fault tolerant* terhadap kegagalan satu atau lebih komponen, jalur distribusi independen dan terpisah, serta kemampuan pemeliharaan tanpa henti operasi (*concurrent maintainability*). Dengan konfigurasi tersebut, sistem catu daya mampu mempertahankan kontinuitas layanan navigasi penerbangan tanpa jeda meskipun terjadi gangguan, pemadaman sumber utama, atau kegiatan pemeliharaan, sehingga mendukung tingkat availability yang sangat tinggi bagi operasional tower dan keselamatan penerbangan.

Hasil Penelitian

1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Gedung Tower JATSC sebagai lokasi objek penelitian. Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Oktober 2025 hingga Januari 2026, yaitu setelah peneliti menyelesaikan dan dinyatakan lulus dalam sidang proposal skripsi.

2. Pengumpulan Data

a. Observasi lapangan

- Ruang lingkup

  Observasi lapangan dilakukan untuk menilai tingkat keandalan sistem catu daya listrik pada Gedung Tower JATSC dalam mendukung operasional fasilitas

communication.

- **Kegiatan yang dilakukan dalam observasi lapangan**
  - Melakukan pengamatan langsung terhadap konfigurasi dan kondisi fisik sistem catu daya
  - Mengidentifikasi alur distribusi daya listrik dari sumber utama hingga ke beban *communication*
  - Mencatat konfigurasi redundansi sistem catu daya yang diterapkan
  - Membandingkan kondisi eksisting sistem catu daya dengan standar dan regulasi yang berlaku
  - Melakukan klarifikasi teknis melalui diskusi singkat dengan personel terkait (teknisi support)
- **Alat bantu yang digunakan dalam observasi**
  - Dokumen teknis : Single Line Diagram (SLD) sistem kelistrikan gedung tower dan jaringan distribusi terhadap peralatan *communication* (TER) gedung tower JATSC untuk dijadikan faktor pembanding terhadap karakteristik topology sistem Tier IV dari Uptime Institute.
  - Daftar Pertanyaan : sebagai sumber referensi tambahan dari narasumber mengenai sistem konfigurasi sistem catu daya kelistrikan gedung tower.

b. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan Supervisor teknisi penunjang di Kantor Cabang JATSC, dengan rincian sebagai berikut:

No	Aspek yang Ditinjau	Pertanyaan Wawancara	Ya	Tidak	Keterangan
1	Suplai Listrik Utama	Apakah gedung tower JATSC memiliki suplai listrik utama lebih dari 1 (satu) jaringan?	√	☐	Catu daya Gedung tower memiliki 2 supplai dari Angkasa Pura
2	Redundansi Suplai	Apakah tersedia lebih dari redundansi suplai	√	☐	Terdapat lebih dari 20 redundansi

No	Aspek yang Ditinjau	Pertanyaan Wawancara	Ya	Tidak	Keterangan
		listrik untuk meningkatkan keandalan pasokan daya?			suplai catu daya
3	Jalur Distribusi	Apakah jalur distribusi daya listrik ke peralatan *communication* dipisahkan dari beban non-kritis?	√	☐	Catu daya untuk peralatan *communication* dipisahkan ke jaringan *Tower Equipment Room* (TER)
4	UPS	Apakah peralatan *communication* disuplai melalui sistem Uninterruptible Power Supply (UPS)?	√	☐	Peralatan communication di suplay oleh 3 UPS, yaitu: UPS Piller, UPS Eaton AOC dan UPS Eaton R. Baterai
5	Redundansi UPS	Apakah sistem UPS menerapkan konfigurasi redundansi?	√	☐	Terdapat 3 redundansi UPS yang diterapkan di jaringan TER
6	Genset	Apakah gedung tower dilengkapi genset sebagai catu daya cadangan?	√	☐	Terdapat 2 genset pada jaringan transmisi P7 dan T7

No	Aspek yang Ditinjau	Pertanyaan Wawancara	Ya	Tidak	Keterangan
7	ATS	Apakah genset terintegrasi dengan Automatic Transfer Switch (ATS)?	√	☐	Sudah terintegrasi
8	STS	Apakah system catu daya sudah dilengkapi Static Transfer Switch	√	☐	Sudah dilengkapi
9	Maintenance	Apabila terdapat Maintenance terhadap system catu daya, apakah mematikan peralatan?	☐	√	Tidak, karena konfigurasi jaringan sudah menerapkan konfigurasi redundansi
10	Fault Tolerance	Apakah sistem catu daya tetap beroperasi saat terjadi kegagalan salah satu komponen?	√	☐	Sistem catu daya akan tetap beroperasi karna sudah menerapkan konfigurasi redundansi

Tabel 4. 1 Daftar Pertanyaan Wawancara

3. Pengolahan Data

No	Aspek Penilaian	Standar Tier IV (Uptime Institute)	Kondisi Sistem Eksisting Gedung Tower JATSC	Kesesuaian
1	Sumber Listrik Utama	Minimal dua sumber listrik	Suplai utama berasal dari *Injourney Airport*	Sesuai

No	Aspek Penilaian	Standar Tier IV (Uptime Institute)	Kondisi Sistem Eksisting Gedung Tower JATSC	Kesesuaian
		independen dan aktif	dengan 2 (dua) jalur transmisi P7 dan T7	
2	Jalur Distribusi Daya	Multiple active power paths ke beban kritikal	Terdapat 3 (tiga) jalur distribusi menuju TER melalui sistem UPS yang berbeda	Sesuai
3	Redundansi Sistem	Seluruh komponen bersifat redundan (2N atau setara)	Sistem konfigurasi jaringan di rancang 5N, catu daya cadangan seperti: UPS, panel, dan genset dirancang redundan hingga N+9	Melampaui
4	Fault Tolerance	Kegagalan satu komponen tidak menyebabkan gangguan layanan	Terdapan redundansi yang membackup apabila terjadi gangguan komponen	Sesuai
5	UPS	Redundant UPS dengan jalur aktif bersamaan	Menggunakan UPS EATON dan UPS PILLER dengan jalur suplai terpisah	Sesuai

No	Aspek Penilaian	Standar Tier IV (Uptime Institute)	Kondisi Sistem Eksisting Gedung Tower JATSC	Kesesuaian
6	Sistem Switching	*Static Transfer Switch* (STS) pada sisi beban	STS digunakan sebelum *Tower Equipment Room* (TER)	Sesuai
7	Genset	Redundant genset, mampu menyuplai seluruh beban kritikal	Genset tersedia sebagai catu daya cadangan utama	Sesuai
8	ATS / AMF	Otomatis dan redundant	ATS/AMF tersedia untuk perpindahan sumber daya	Sesuai
9	Panel Distribusi	Panel redundant dan terpisah secara fisik	Panel OP dan MDP terpisah untuk tiap jalur	Sesuai
10	Maintainability	Pemeliharaan tanpa menghentikan operasional	Dengan konfigurasi redundansi tidak mengakibatkan berhentinya operasional akibat pemeliharaan	Sesuai
11	Availability Target	≥ 99,999% (*five nines*)	Sistem dirancang mendukung *availability* tinggi, dikarenakan system catu daya	Sesuai

No	Aspek Penilaian	Standar Tier IV (Uptime Institute)	Kondisi Sistem Eksisting Gedung Tower JATSC	Kesesuaian
			diterapkan hingga N+9 sehingga menjamin peralatan tidak pernah putus meskipun terjadi gangguan atau pemeliharaan.	

Tabel 4. 2 Pengolahan data eksisting terhadap standar Uptime Institute

4. Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian Bandar Udara Soekarno-Hatta telah dirancang dengan konfigurasi Tier IV dari Uptime Institute, *dual layer* (berlapis), redundansi dan kontinuitas pasokan listrik tanpa gangguan dengan mengacu pada prinsip dan standar dan ketentuan yang berlaku.

Luaran dari penelitian ini berupa Ringkasan temuan utama dari analisa keandalan sistem catu daya utama gedung tower, mengidentifikasi konfigurasi sumber daya utama, sistem catu daya cadangan, dan jaringan distribusi untuk mempertahankan tingkat keandalan (*availability*) peralatan *Communication* pada gedung tower sebesar 99,999%. Temuan ini diperoleh melalui tahapan penelitian yang sistematis, mulai dari pengumpulan data peralatan, analisa dan evaluasi teknis, hingga pembahasan yang mengacu pada metodologi yang digunakan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai analisa sistem kelistrikan gedung Tower JATSC yang mendukung pemenuhan tingkat availability peralatan 99,999% pada peralatan *Communication* sesuai CASR 171. (Menteri Perhubungan, n.d.), sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi teknis dalam penerapan keandalan sistem catu daya pada gedung tower bandar udara lainnya.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem catu daya pada Gedung Tower JATSC telah dirancang dengan konfigurasi redundansi jaringan distribusi 5N dan kapasitas redundansi catu daya hingga N+9, yang terdiri atas 5 transformator InJourney

Airports, 2 generator set (genset), dan 3 Uninterruptible Power Supply (UPS), sehingga mampu menjamin kontinuitas pasokan listrik meskipun terjadi gangguan maupun pemeliharaan. Konfigurasi tersebut melampaui persyaratan topologi Tier IV Uptime Institute dan dinilai mampu mendukung pencapaian target availability sebesar 99,999% pada peralatan Communication. Oleh karena itu, konfigurasi sistem catu daya Gedung Tower JATSC diharapkan dapat menjadi acuan penerapan pada seluruh gedung tower bandar udara di Indonesia. Selain itu, hasil dan konsep penelitian ini dapat dikembangkan sebagai referensi dalam analisis keandalan sistem catu daya pada fasilitas Navigation, Surveillance, dan Data Processing guna meningkatkan keandalan serta kesinambungan operasional layanan navigasi penerbangan di seluruh bandar udara Indonesia.

E. DAFTAR PUSTAKA

Abadi, M. F., Bordbari, M. J., Haghighat, F., & Nasiri, F. (2025). Dynamic maintenance cost optimization in data centers: An availability-based approach for K-out-of-N systems. Buildings, 15(7), 1057. https://doi.org/10.3390/buildings15071057

Azizi, A., Morovati, S., Zamani, A., Piruzza, J., Guo, D., Liu, Z., & Taimela, P. (2026). Strengthening data center operations using grid-forming battery energy storage as a line-interactive uninterruptible power supply. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 175, 111638. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2026.111638

Deviatkina, S., & Yaremich, T. (2024). Mathematical reliability model of the aerodrome power supply system. Electronics and Control Systems, 4(82), 41–47. https://doi.org/10.18372/1990-5548.82.19380

Frederick, L., & Pai, M. M. M. (2025). Generation of real world maintenance data of data center uninterruptible power supply systems and failure prediction. IEEE Access, 13, 155096–155109. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3605758

Ghosh, S., & Damodara, J. (2026). Scalable data centers – Power generation and delivery challenges and solutions. Energy Reports. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2026.109178

Huang, L.-L., Wang, Z.-W., Xu, H.-R., Wang, B.-L., & Chen, W.-W. (2025). FMEA-based risk mitigation for hospital UPS failures. Results in Engineering, 27, 106833. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106833

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1996). IEEE recommended practice for emergency and standby power systems for industrial and commercial applications. IEEE.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2007). IEEE recommended practice for the

design of reliable industrial and commercial power systems (IEEE Std 493-2007). IEEE.

International Civil Aviation Organization. (2001). Aeronautical telecommunications: Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Volume II: Communication procedures including those with PANS status. ICAO. https://www.icao.int/

International Civil Aviation Organization. (2017). Aerodrome design manual: Part 5—Electrical systems (Doc 9157) (2nd ed.). ICAO.

International Civil Aviation Organization. (2018). Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation: Aerodromes, Volume I—Aerodrome design and operations. ICAO.

International Electrotechnical Commission. (2017). Uninterruptible power systems (UPS)—Part 1: Safety requirements (IEC 62040-1:2017). IEC.

International Electrotechnical Commission. (2021). Uninterruptible power systems (UPS)—Part 3: Method of specifying the performance and test requirements (IEC 62040-3:2021). IEC.

Katuwu, B. P. P., Manjang, S., & Dewiani. (2026). FMEA-based reliability analysis of airfield lighting electrical systems. In Proceedings of the 2026 5th International Conference on Electronics Representation and Algorithm (pp. 656–660). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICERA72709.2026.11666693

Lauzon, J.-W., Kocar, I., & Lesage-Landry, A. (2025). Reliability assessment of distribution systems with microgrids using discrete-time Markov chains. IEEE Transactions on Power Delivery. https://doi.org/10.1109/TPWRD.2025.3647278

Liu, Z. (2025). Current status analysis and improvement suggestions on power supply reliability technologies for airport microgrids. Theory and Practice of Science and Technology, 6(3), 30–33. https://doi.org/10.47297/taposatWSP2633-456905.20250603

National Fire Protection Association. (2022). NFPA 110: Standard for emergency and standby power systems. NFPA.

Riva, R., & Paolini, M. (2025). Data center power supply availability study through dynamic reliability block diagrams – Lessons learned. In 2025 9th International Conference on System Reliability and Safety (pp. 27–33). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICSRS68021.2025.11422198

Saleheen, M. Z., Wagner, M., & Wang, H. (2026). Ensuring reliability in 100% renewable microgrids: A scenario-based joint planning and operational design framework. Energy Conversion and Management, 363, 121645.

https://doi.org/10.1016/j.enconman.2026.121645

Saleheen, M. Z., Wagner, M., Razzaghi, R., & Wang, H. (2026). Reliability as a design principle: A systematic review and integrated framework for renewable-based microgrids. Energy Conversion and Management: X, 30, 101878. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2026.101878

Shih, T.-H., Chen, C.-T., & Lin, Y.-K. (2026). Critical infrastructure identification in microgrid system via reliability evaluation. https://doi.org/10.1142/S021853932650018X

Sirotskiy, M., & Pugachev, A. (2026). Comparison of uninterruptible power supply reliability in various redundancy systems. Automation and Modeling in Design and Management, 2026(1), 94–100. https://doi.org/10.30987/2658-6436-2026-1-94-100

Telecommunications Industry Association. (2017). Telecommunications infrastructure standard for data centers (TIA-942-B). TIA. http://www.tiaonline.org/standards/catalog/

Uptime Institute. (n.d.). Tier standard: Topology. Uptime Institute.

Wang, Y., Wang, F., Li, S., & Zhang, Y. (2024). Precise modeling and analysis of aviation power system reliability via the aviation power system reliability probability network model. Aerospace, 11(7), 530. https://doi.org/10.3390/aerospace11070530

Yu, Y., Shan, K., Li, H., & Wang, S. (2026). Quantitative impacts of energy system flexibility provision and design/operation on data center reliability and the key influential parameters. Applied Energy, 415, 127904. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2026.127904

Yu, Y., Shan, K., Tang, H., & Wang, S. (2025). Reliability and economic impacts of utilizing battery energy storage in data centers for energy flexibility services in smart grids. Energy Conversion and Management, 339, 119951. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119951

Zhang, S., Gao, J., Qian, H., Yu, J., Luo, S., & Guo, Q. (2024). Power system operational reliability assessment based on the data center energy consumption elastic space. Frontiers in Energy Research, 12, 1370861. https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1370861

Zhang, S., Liu, W., Wan, H., Wang, T., Cheng, R., & Li, H. (2024). Comprehensive reliability assessment method for distribution networks considering IIDG low voltage ride-through control. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 159, 110034. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110034

Zhou, Y. (2024). Resilience analysis and improvement strategy of microgrid system considering

new energy connection. PLOS ONE, 19(4), e0301910. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301910