

Analysis Of Disturbances In The Reserve Electric Power Supply At Sam Ratulangi International Airport

Analisa Gangguan Pada *Supply* Daya Cadangan Listrik Di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi

Kurnia Bolota, Hans Tumaliang, Novi M. Tulung

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mail: kurniabolota99@gmail.com, hanstumaliang@unsrat.ac.id, novi.tulung@unsrat.ac.id.

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date] (Times New Roman 11)

Abstract — *Sam Ratulangi Airport is one of the airports in eastern Indonesia which is of international standard, in order to maintain safety and provide comfort to consumers, Sam Ratulangi Airport has a system. backup power The primary source is a diesel-powered power plant (DPPP) to support electricity reliability. At Sam Ratulangi International Airport, an incident occurred where the generator used as backup power repeatedly went out. The purpose of this study was to identify the types of disturbances that occurred, analyze the factors causing the disturbances, and determine solutions and preventative strategies to prevent the disturbances. The results of this study, based on the data and chronology of the disturbances, blackout When connect transformer with generator at the airport, judging from the duration of the disruption, it can be concluded that a disruption occurred Inrush Current This causes the protective equipment to operate, resulting in a blackout or total power outage for the backup power supply (generator). To overcome the inrush current, one method that can be used is gradual phase connection, namely connecting the phases sequentially with a certain delay when the transformer is in an unloaded condition (0 load). There are several connection time settings, the application of differential protection with inrush restraint, and the use of Pre-Insertion Resistor (PIR).*

Keywords: *Disturbance, Back-up Power, Inrush Current, Sequential Phase Energize.*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan hidup salah satunya kebutuhan transportasi udara [1], Bandara Sam Ratulangi adalah salah satu bandara yang berada di bagian Indonesia timur yang bertaraf internasional, demi menjaga keselamatan dan memberikan kenyamanan kepada konsumen di Bandara Sam Ratulangi memiliki sistem *backup power* dengan sumber utama yaitu pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) sebagai penunjang keandalan listrik. Di Bandar Udara Sam Ratulangi terjadi peristiwa gangguan genset yang belum diketahui pasti penyebabnya, saat PLN padam pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang ada di bandara mengalami pemadaman atau mati secara berulang kali hingga para konsumen listrik di bandara merasa tidak nyaman sehingga peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan tujuan mengidentifikasi gangguan, menganalisis penyebab gangguan, dan menentukan solusi dan startegi pencegahan agar pihak-

pihak terkait dapat terbantu.

A. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Mesin diesel merupakan mesin kalor yang mengubah energi panas menjadi energi gerak [2]. Untuk menghasilkan listrik, mesin diesel dihubungkan ke generator atau alternator dengan memutar rotor pada generator dimana mesin diesel bertindak sebagai penggerak [3].

B. Generator atau Alternator

Pada bagian generator yang berputar disebut rotor, sedangkan bagian yang diam disebut stator [4]. Generator merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan memanfaatkan gaya gerak listrik[5].

Pada generator sering terjadi gangguan, gangguan-gangguan tersebut meliputi gangguan hubung singkat [6], hilangnya penguat medan [7], pengaliran daya balik [8], temperatur lebih [9], arus lebih [10], dan lain sebagainya.

C. Transformator

Transformator merupakan bagian dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi mengubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip elektromagnetik [11].

Gangguan yang sering terjadi pada transformator meliputi:

- 1)hubung singkat: *Short Circuit* pada transformator dapat terjadi di antara belitan (hubungan pendek antar-belitan) atau antar belitan dan inti besi. Gangguan ini dapat disebabkan oleh degradasi isolasi, panas berlebihan, atau kerusakan mekanis [12].
- 2)gangguan sistem pendingin: Sistem pendingin transformator menjaga suhu operasi dalam batas aman. Kegagalan kipas pendingin atau sistem sirkulasi oli dapat menyebabkan panas berlebihan, yang mempercepat degradasi isolasi dan dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan [13].
- 3)gangguan listrik petir: Petir yang menyambar saluran transmisi dapat menyebabkan lonjakan tegangan tinggi memasuki transformator. Jika penangkal petir tidak berfungsi dengan baik, lonjakan ini dapat merusak isolasi internal [14].

bandara dengan sumber utama PLTD mengalami pemadaman dengan gangguan yang belum diketahui.

Sistem Ring yang ada di bandara di nonaktifkan mulai dari Ring 1, Ring 2, Ring 3 dan Ring 4 (saat itu sedang digunakan), saat Genset dinyalakan kembali suplai daya cadangan pada masing-masing Ring diaktifkan kembali sampai dimana saat diaktifkan Saat Ring 1 diaktifkan terjadi pemadaman kemudian dilakukan penonaktifan masing-masing trafo, dilakukan uji coba Trafo 1 yaitu dengan memindahkan beban trafo 3 ke Trafo 1 secara manual. Trafo 1 normal.

Kemudian dilakukan uji coba trafo 1 secara auto dengan menonaktifkan dan mengaktifkan kembali Ring 1 dari MPH. Saat Ring 1 dimasukkan terjadi Blackout (alarm) pada Genset, suplai ke bandara Sam Ratulangi padam kubikal Trafo 1 dan 2 dinonaktifkan secara manual. Genset Kembali dihidupkan, kemudian dilakukan pengaktifan Ring 1 dan memasukkan Kubikal Trafo 2 secara manual.

Saat Kubikal Trafo 2 diaktifkan, Genset kembali mengalami Blackout (alarm) dan suplai Listrik padam. Setelah itu Kubikal Trafo 2,3 dan 4 pada terminal baru berikut Ring 1 dan Ring 5 dari MPH dinonaktifkan. Saat itu teknisi mengindikasikan adanya arus inrush kemudian dilakukan penyetelan pengaturan delay sepam pada trafo dari 0,8 mS ke 0,5mS dan pada genset dari 0,8 mS ke 1,1 mS.

Genset kembali dihidupkan, Ring 1 dan 5 diaktifkan, kemudian Kubikal Trafo 4 dan 3 diaktifkan secara bergantian. Trafo 2, 3, dan 4 dimasukan secara bergilir ke sistem dan kembali normal.

D. Metode Identifikasi Gangguan

Metode meliputi;

- 1)Meninjau secara keseluruhan terkait gangguan melalui laporan gangguan, dan wawancara dengan teknisi,
- 2)Inspeksi Visual dan Pemeriksaan Fisik di Trafo 1, 2, 3 dan 4 yang ada di Substation Terminal baru Bandara Sam Ratulangi. Berikut data teknis mengenai trafo yang digunakan di substation terminal baru bandara dapat dilihat pada tabel dibawah

TABEL 3.

Data teknis Transformator di Substation terminal baru

Trafo	Type	Kapasitas (kVA)	Sistem Pendingin	Proteksi	Impedansi	Tahun Instalasi
Trafo 1	Dry cast resin	1600	AN/AF	IP-23	6%	2020
Trafo 2	Dry cast resin	800	AN/AF	IP-23	4,5%	2020
Trafo 3	Dry cast resin	1600	AN/AF	IP-23	6%	2020
Trafo 4	Dry cast resin	1600	AN/AF	IP-23	6%	2020

- 3)Pengukuran Arus dan Tegangan pada waktu siang (beban penuh) dan malam, dan tahanan isolasi pada sisi sekunder transformator 1, 2, 3, dan 4 di substation terminal baru

TABEL 4.

Pengukuran pembebanan siang hari pada sisi sekunder trafo di SS TB

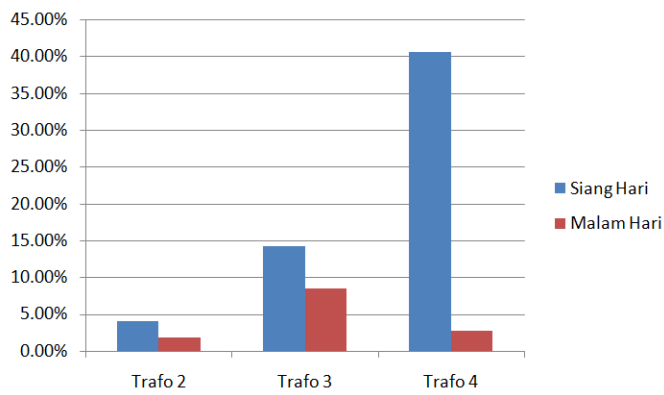
Trafo	Daya kVA	Beban Siang					
		Arus (A)			Tegangan (V)		
		R	S	T	R-S	S-T	T-R
Trafo 2	800	33,1	63,44	41,92	401,2	403,5	401,3
Trafo 3	1600	355,	344,9	348,9	399,2	399,7	401,9
Trafo 4	1600	904	932,1	898,0	397,0	399,7	397,6

TABEL 5.

Pengukuran pembebanan malam hari pada sisi sekunder trafo di substation terminal baru

Trafo	Daya kVA	Beban Malam					
		Arus (A)			Tegangan (V)		
		R	S	T	R-S	S-T	T-R
Trafo 2	800	24,81	24,13	14,60	405,0	408,1	405,4
Trafo 3	1600	203,2	192,6	186,3	404,7	405,5	408,0
Trafo 4	1600	77,99	53,82	50,14	404,6	407,9	405,3

- 4)Pembebanan untuk membandingkan apakah sudah sesuai dengan spesifikasi trafo yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



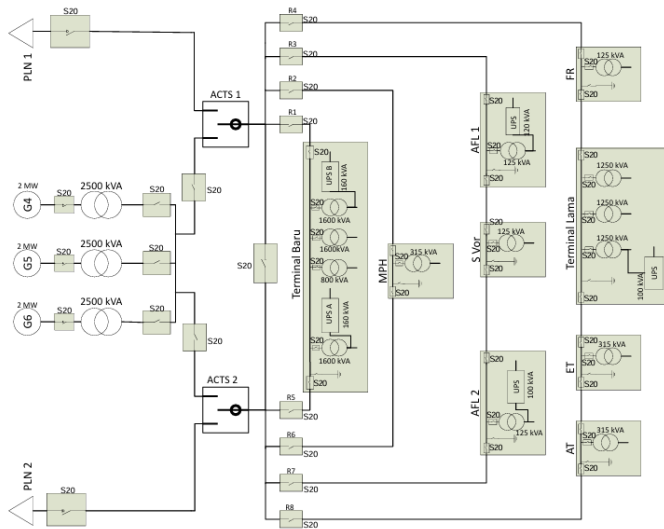
Gambar 2. Presentase pembebanan trafo di SS TB

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa persentase perbandingan pembebanan diwaktu siang dan malam. Pada transformator 2 presentase pembebanan disiang hari ada diangka 4,02% dan di malam hari ada diangka 1,84%. Pada transformator 3 presentase pembebanan disiang hari adalah 15,18% dan malam hari adalah 8,42%. Dan terakhir presentase pembebanan transformator 4 disiang hari ada diangka 40,58% dan malam hari ada diangka 2,70%. Dari presentase pembebanan pada semua trafo dapat disimpulkan bahwa tidak adanya indikasi beban berlebih atau *Overload*.

C. Hasil dan Analisa

Dari data dan kronologis gangguan dimana terjadi blackout pada saat connect transformator dengan genset yang ada di bandara.

Dilihat dari lamanya gangguan maka dapat disimpulkan terjadinya gangguan Inrush Current yang mengakibatkan peralatan-peralatan proteksi bekerja, sehingga membuat daya cadangan listrik (Genset) blackout atau padam total.



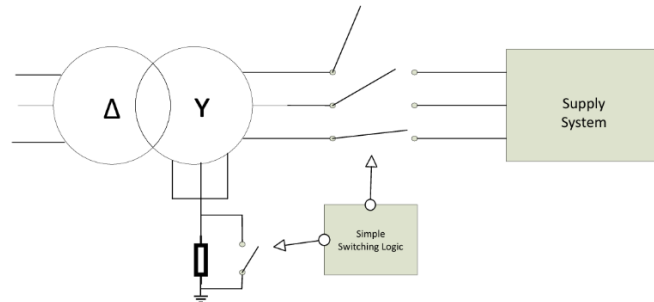
Gambar 3. Single line diagram Bandara

Dari gambar di atas terlihat tidak adanya pengamanan untuk atau jika terjadinya gangguan Inrush Current.

Untuk kejadian gangguan di atas (Inrush current) dapat

diatasi dengan beberapa metode, sehingga apabila terjadi gangguan inrush current peralatan proteksi tidak perlu bekerja.

Salah satu metode untuk mengatasi *Inrush Current Sequential Phase Energize (SPE)*, metode ini menyambungkan fasa transformator secara bertahap (fase per fase), bukan ketiganya sekaligus. Hal ini memungkinkan fluks magnet terdistribusi lebih merata dan mengurangi amplitudo arus inrush secara keseluruhan.



Gambar 4. Skema metode SPE

Metode SPE memiliki parameter krusial untuk mengurangi arus masuk: penundaan, atau interval waktu, antara setiap fasa ketika tegangan input diterapkan. Waktu penutupan pemutus untuk setiap fasa ditentukan berdasarkan arus terkecil yang ditarik selama simulasi pada sudut yang telah ditentukan. Dalam metode ini, fasa 1 berfungsi sebagai referensi untuk pergeseran sudut dan waktu penutupan pemutus untuk setiap fasa. Waktu penutupan pemutus untuk setiap fasa sangat krusial untuk mengurangi arus masuk [19].

Selain Metode *Sequential Phase Energize (SPE)*, adapun metode seperti metode pengaturan waktu penyambungan (*Controlled switching*), *Controlled switching* adalah metode penyambungan transformator secara terkontrol pada titik gelombang tegangan tertentu untuk meminimalkan arus inrush. Dengan menggunakan peralatan seperti synchronizing relay dan circuit breaker dengan kontrol waktu, penyambungan dilakukan pada saat tegangan melintasi nol (zero-crossing), sehingga fluks magnet tidak berubah secara tiba-tiba. Metode penerapan Proteksi Diferensial dengan *Inrush Restraint*, proteksi diferensial digunakan untuk mendeteksi arus gangguan internal. Namun, inrush current dapat menyebabkan kesalahan operasi proteksi ini. Untuk itu, digunakan restraining logic berbasis harmonik kedua (second harmonic restraint), karena arus inrush memiliki kandungan harmonik kedua yang tinggi, berbeda dengan arus gangguan. Penggunaan *Pre-Insertion Resistor (PIR)*, Pre-insertion resistor dipasang secara sementara saat transformator pertama kali di-energize. Resistor ini menyerap sebagian energi inrush dan kemudian dikeluarkan dari sirkuit setelah beberapa siklus. Metode ini banyak digunakan dalam sistem tegangan tinggi.

III. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Gangguan utama di bandara adalah genset trip saat trafo SS TB dicontact ke sistem, dilihat dari lamanya gangguan, jenis gangguan yang terjadi adalah gangguan inrush current
2. Penyebab utama terjadinya inrush current adalah tidak adanya pengamanan untuk mendeteksi inrush current.

3. Inrush current bisa diatasi atau dikurangi dengan beberapa metode meliputi SPE, penggunaan PIR, controlled switching, dan penerapan *second harmonic restraint* pada proteksi diferensial.

Saran dari beberapa metode penanganan *Inrush Current*, diharapkan pihak-pihak terkait dapat menggunakannya sebagai acuan *maintanance*.

KUTIPAN

- [1] M. A. Wilman, "Pengaruh Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Pelanggan Terminal 3 Bandara Soekarno-Hatta," p. 156, 2017.
- [2] S. Anwar and A. Amin, "Pengaruh Operasional Pltd Pada Bandar Udara Syamsudin Noor Banjarbaru Akibat Pemutusan Tenaga Listrik Oleh Pt. Pln Ditinjau Dari Segi Ekonomi," *Al Ulum J. Sains Dan Teknol.*, vol. 4, no. 2, p. 54, 2019, doi: 10.31602/ajst.v4i2.2041.
- [3] M. S. Siregar, J. Junaidi, A. Irwan, and H. Ibrahim, "ANALISIS PEMELIHARAAN BERKALA PADA MOTOR DIESEL GENERATOR SET DAYA 90 kVA SEBAGAI ENERGI LISTRIK CADANGAN DI UPT RUMAH SAKIT KHUSUS PARU," *SINERGI POLMED J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 55–67, 2022, doi: 10.51510/sinergipolmed.v3i1.700.
- [4] R. A. Sonya, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," *Otonomi*, vol. 20, no. 1, pp. 396–406, 2020.
- [5] G. W. McLean, "Generators," *Newnes Electr. Power Eng. Handbook, Second Ed.*, vol. 11, no. 1, pp. 105–133, 2005, doi: 10.1016/B978-075066268-0/50005-6.
- [6] S. Hasta Wibowo, M. Ali Watoni, J. Teknik Elektro, and P. Negeri Banjarmasin, "Analisa Stabilitas Generator Serempak Menghadapi Gangguan Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik," *Print) J. INTEKNA*, vol. 23, no. 1, pp. 69–76, 2023, [Online]. Available: <http://ejurnal.poliban.ac.id/index.php/intekna/issue/archive>
- [7] R. S. Wicaksono and A. I. Agung, "Analisis Gangguan Generator Di Pt. Pjb Unit Pembangkitan Brantasplta Mendalan Malang," *Jte*, vol. 7, no. 2, pp. 93–99, 2018.
- [8] A. Susandi, S. Hardi, and P. Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, "Studi Penggunaan Rele Daya Balik Pada Generator 18 Mw Di Pltmg Pt. Sumberdaya Sewatama Sumbagut-2 Peaker," *J. Tektro*, vol. 05, no. 02, 2021.
- [9] Klaudia BR Semimbing, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," p. 6, 2021.
- [10] Z. Zulkarnaini, "Analisa Proteksi Arus Lebih Pada Generator PLTU Teluk Sirih," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 8, no. 1, pp. 28–34, 2019, doi: 10.21063/jte.2019.3133806.
- [11] B. Sirima, G. M. C. Mangindaan, D. Ph, and L. S. Patras, "Analysis Effect Loading of Power Transformers At the Sawangan Substation," *Dept. Electr. Eng. Sam Ratulangi Univ. Manad. Kampus Bahu St., 95115, Indones.*, pp. 1–18, 2024, [Online]. Available: <http://repo.unsrat.ac.id/5098/>
- [12] I. Gusti, P. Arka, N. Mudiana, and G. K. Abasana, "Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 20 Kv Dengan Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr)," *J. Log.*, vol. 16, no. 1, pp. 46–52, 2016.
- [13] A. Afriangga, Meriani, and F. Putra Winarta, "Sistem Pendingin Minyak Jenis Onaf Pada Transformator Daya 30 Mva Gardu Induk Lahat 150 Kv," *J. Tek. Elektro Raflesia*, vol. 3, no. 1, pp. 13–17, 2023.
- [14] R. Agustian and B. H. S. R. Wibowo, "Analisa Penempatan jarak arrester sebagai Proteksi Transformator," pp. 5–8, 2018.
- [15] F. Akbar and T. Wrahatnolo, "Dampak Gangguan Beban Lebih Terhadap Overload Shedding Gardu Induk 150kV Sukolilo Surabaya," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 157–163, 2023, doi: 10.37905/jjee.v5i2.20137.
- [16] D. Fathoni and C. G. Irianto, "Analisis Gangguan Mekanis Pada Transformator Distribusi Dengan Metode Sweep Frequency Response Analysis (SFRA)," *Anal. Gangguan Mek. Pada Transform. Distrib. Dengan Metod. Sweep Freq. Response Anal.*, pp. 1–14, 2022.
- [17] M. F. Robbani, D. Nugroho, and G. Gunawan, "Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 kV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage," *Elektrika*, vol. 12, no. 2, p. 60, 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i2.2721.
- [18] Mohammad Arief, "Perhitungan Dan Analisis Inrush Current Pada Transformator Berbasis Parameter Transformator," *J. STT Yuppentek*, vol. 9, no. 1, pp. 67–74, 2018.
- [19] U. S. A. M. Ratulangi, F. Teknik, and J. T. Elektro, "PENERAPAN METODE SEQUENTIAL PHASE ENERGIZATION (SPE) DALAM MENDETEKSI INRUSH CURRENT PADA TRANSFORMATOR DAYA 150 KV DI GARDU INDUK PANIKI," 2022.

TENTANG PENULIS



Kurnia Bolota, penulis adalah anak ke-4 dari 4 bersaudara, lahir di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, Sulawesi Utara, pada tanggal 31 Oktober 2002. Penulis menempuh pendidikan pertama di sekolah Dasar Negeri Inomunga tahun 2009 sampai 2015, Setelah itu pada tahun 2015 melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Kaidipang sampai tahun 2018. Kemudian Penulis melanjutkan Pendidikan di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Bolang Itang

Barat, Sulawesi Utara pada tahun 2018 hingga lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis memulai Pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2023. Dalam menempuh Pendidikan, penulis telah mengikuti lomba Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan lolos pendanaan Simbelmawa dengan judul HydroSteam: Kompor Air: Cerdas dengan integrasi IoT dan Kecerdasan

Buatan untuk mendukung Agenda SDGs 2030 di Indonesia, yang membuat penulis free KKT. Penulis juga melaksanakan Kerja Praktek di Bandara Sam Ratulangi Manado selama 5 bulan dari bulan Juli sampai Desember tahun 2024 yang berlokasi di. Kemudian pada bulan Februari sampai Juni tahun 2025 melakukan penelitian dan pengambilan data di Bandara Sam Ratulangi Manado.