

Analisis Sistem *Grounding* di Bandar Udara Cakrabhuwana

Willy Amri Sinaga¹ Suse Lamtiar² Ahmad Al Baihaqi Husaini³

Program Studi D.IV Teknik Listrik Bandara, Jurusan Teknik Penerbangan, Politeknik
Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: willy.sinaga@ppicurug.ac.id¹ suse.lamtiar@ppicurug.ac.id²
baihaqi.husaini@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Sistem *grounding* pada Bandar Udara Cakrabhuwana Cirebon melalui kegiatan wawancara menyatakan belum dilakukan pemeliharaan dan pengujian nilai resistansi secara berkala sejak pemasangan tahun 2014, sehingga berpotensi menimbulkan kegagalan proteksi dan bahaya keselamatan operasional penerbangan. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan sistem *grounding* dan memberikan solusi teknis penurunan nilai resistansi secara teoritis yang tidak memenuhi standar. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis nilai resistansi *grounding* pada enam titik penting serta mengevaluasi efektivitas metode perbaikan secara teoritis. Metode yang digunakan adalah analisis kuantitatif deskriptif dengan teknik pengukuran langsung *Fall-of-Potential* menggunakan *Earth Tester* digital. Metode ini dipilih karena memberikan akurasi yang tinggi dalam mengukur nilai resistansi di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lima dari enam titik memenuhi standar PUIL 2020 ($\leq 5 \Omega$), sedangkan titik *Precision Approach Path Indicator* (PAPI) tidak layak dengan nilai resistansi 182,33 Ω akibat korosi elektroda dan penanaman dangkal (5 m). Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa metode paralel *rod grounding* ($S > L$) (79,03 %), paralel siku (81,97 %), kombinasi metode *single* metode paralel *rod grounding* ($S < L$), metode paralel *rod grounding* ($S > L$) dengan zat aditif bentonit teraktivasi, nilai persentase penurunan masing-masing (81,97%), (82,58%), dan (85,03%). Rekomendasi penelitian lanjutan adalah melakukan uji coba eksperimental lapangan langsung untuk memverifikasi model perhitungan bentonit teraktivasi secara empiris.

Kata Kunci: Bentonit Teraktivasi, *Earth Tester*, Lampu PAPI, PUIL 2020, Resistansi *Grounding*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Sistem *grounding* merupakan sistem proteksi yang sangat krusial dalam menyalurkan arus gangguan dan sambaran petir ke bumi guna menjamin keandalan peralatan operasional serta keselamatan penerbangan di Bandar Udara Cakrabhuwana Cirebon. *State of the Art* dalam sistem *grounding* menunjukkan bahwa keandalan sistem sangat dipengaruhi oleh resistivitas tanah, konfigurasi elektroda, dan kelembaban lingkungan (Mubarok et al., 2022). Penelitian oleh (Bangun et al., 2016) menegaskan bahwa peningkatan kedalaman dan penambahan elektroda efektif menurunkan nilai resistansi pada gedung kelistrikan. (Andini et al., 2016) menemukan bahwa perlakuan zat aditif bentonit teraktivasi fisika mampu menekan resistivitas tanah secara drastis pada area dengan tanah berhambatan tinggi. Penelitian lainnya menyatakan dengan melakukan metode kombinasi sistem *grounding* dengan campuran bentonit dapat menurunkan nilai resistansi dengan persentase 80 – 85 %. Selain itu, (Indonesia & Nasional, 2011) menggarisbawahi bahwa instalasi kelistrikan wajib memenuhi batas ambang batas aman yaitu $\leq 5 \Omega$ untuk mencegah bahaya tegangan sentuh dan kerusakan perangkat elektronik sensitif.

Gap Analysis menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada pengukuran sistem *grounding* gedung umum atau simulasi laboratorium, serta belum memetakan dampak degradasi material elektroda akibat korosi jangka panjang (lebih dari 10 tahun) pada area fasilitas penerbangan Lampu PAPI. Kesenjangan ini sangat krusial mengingat

sistem *grounding* di bandar udara menuntut tingkat keandalan dan kerapian spek keselamatan yang jauh lebih tinggi (Li et al., 2024). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur secara pasti nilai resistansi pada enam titik penting Bandar Udara Cakrabhuwana, mengidentifikasi faktor penyebab kegagalan resistansi, serta merumuskan simulasi evaluasi perbaikan teoritis terbaik untuk mencapai nilai resistansi di bawah 5 Ω sesuai standar PUIL 2020.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis / Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian Utama	Kontribusi dan Relevansi
1	(Asmal et al., 2022)	Analisis Kegagalan System Grounding pada Pondok Aysah Samata Kabupaten Gowa	Menganalisis penyebab kegagalan dan menurunkan nilai resistansi <i>grounding</i> panel	Eksperimen kuantitatif dengan pengukuran langsung menggunakan <i>earth tester</i>	Nilai resistansi awal 8,47 Ω dan 7,33 Ω berhasil turun menjadi 1,26 Ω melalui penambahan kedalaman 6 m dan paralel 6 titik	Acuan penerapan kombinasi penambahan kedalaman elektroda dan sistem <i>paralel rod</i> untuk menekan nilai resistansi
2	(Amelya et al., 2024)	Efektifitas Zat Adiktif dalam Memperkecil Resistansi Pentanahan Gedung Pasca Sarjana Universitas Ichsan Gorontalo	Mengevaluasi efektivitas zat aditif untuk memperkecil resistansi pembumian pada tanah berbatu	Eksperimen kuantitatif dengan metode 3 titik menggunakan <i>earth tester</i>	Resistansi awal 11 Ω turun menjadi 5,45 Ω menggunakan konfigurasi 2 elektroda paralel serta penambahan NaCl dan serbuk besi	Landasan penggunaan zat aditif dan konfigurasi paralel pada karakteristik tanah berhambatan tinggi
3	(Amrullah & Kuspranoto, 2024)	Optimalisasi Sistem Grounding pada Fasilitas DPPU YIA : Studi Kasus dan Rekomendasi Perbaikan	Mengevaluasi dan merumuskan rekomendasi perbaikan sistem <i>grounding</i> fasilitas penerbangan	Kuantitatif melalui pengukuran langsung bentangan garis lurus (0–5 m–10 m)	Resistansi penangkal petir terukur 219 Ω ; dihasilkan rekomendasi penggantian tiang anti-korosi dan pelindung kabel	Rujukan evaluasi sistem pembumian pada infrastruktur penerbangan/bandara serta langkah mitigasi korosi
4	(Kasim et al., 2016)	Analisis Penambahan Larutan Bentonit dan Garam untuk Memperbaiki Tahanan Pentanahan Elektroda Plat Baja dan Batang	Menguji efektivitas larutan bentonit dan garam (<i>soil treatment</i>) dalam memperkecil resistansi	Kuantitatif eksperimental (<i>soil treatment</i> aditif & variabel kedalaman)	Bentonit menurunkan resistansi 54%, garam 47%; kombinasi bentonit dan penambahan kedalaman menekan nilai hingga 1 Ω	Dasar teknis efektivitas bentonit sebagai media perlakuan tanah (<i>soil treatment</i>) yang aman dan signifikan

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah analisis kuantitatif deskriptif dengan didukung kegiatan wawancara, observasi, dan dokumentasi penelitian (Sugiyono, 2023). Penelitian ini dilaksanakan di Bandar Udara Cakrabhuwana, Cirebon, Jawa Barat, pada kurun waktu Januari hingga Juli 2026. Pengukuran langsung dilakukan pada enam lokasi sistem *grounding* utama, yaitu Penyalur Petir, Panel Distribusi I, *Constant Current Regulator* (CCR), Panel Distribusi II, *Main Power House* (MPH), dan Lampu *Precision Approach Path Indicator* (PAPI). Peralatan utama yang digunakan untuk pengujian adalah *Digital Earth Tester* Kyoritsu Model 4105A dengan tingkat akurasi $\pm 2\%$ RDG. Pengukuran nilai resistansi menerapkan metode 3-terminal (*Fall-of-Potential*), di mana elektroda uji dihubungkan dengan dua pasak pembantu yang ditancapkan pada jarak masing-masing 5 meter dan 10 meter searah garis lurus. Setiap titik

dilakukan tindakan pengukuran sebanyak 3 hari pengukuran untuk memperoleh rata-rata presisi. Pengolahan data dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata hasil pengukuran lapangan terhadap ambang batas PUIL 2020 ($\leq 5 \Omega$). Titik yang tidak memenuhi standar, dilakukan analisis kalkulasi teoritis *single rod grounding* menggunakan persamaan dasar :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right)$$

Nilai resistivitas tanah (ρ) adalah resistivitas tanah ($100 \Omega \cdot m$), L adalah panjang elektroda, dan α adalah radius elektroda 1,70 inci (0,0432 m). Evaluasi perbaikan dimodelkan secara matematis melalui skenario penambahan kedalaman, konfigurasi paralel *rod grounding* ($S < L$ dan $S > L$), sistem *mesh/grid*, serta perlakuan penambahan zat aditif bentonit teraktivasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengukuran lapangan dilakukan secara langsung untuk mengetahui kondisi riil dan nilai resistansi sistem *grounding* di Bandar Udara Cakrabhuwana Cirebon. Pengujian ini mencakup 6 titik lokasi instalasi vital yang menjadi pendukung utama keandalan operasional bandar udara dan sistem proteksi kelistrikan bandar udara, meliputi Sistem Penyalur Petir, Panel Distribusi I, *Constant Current Regulator* (CCR), Panel Distribusi II, *Main Power House* (MPH), dan Lampu *Precision Approach Path Indicator* (PAPI). Pengukuran menggunakan alat uji *Digital Earth Tester* dengan teknik *Fall-of-Potential* (3-terminal) yang dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan pada setiap titik untuk memperoleh nilai resistansi rata-rata. Hasil pengukuran nilai resistansi *grounding* beserta tingkat kedalaman penanaman elektroda di masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Nilai Resistansi *Grounding* Eksisting

No	Lokasi / Titik <i>Grounding</i>	Kedalaman Elektroda (L)	Tahanan Pengukuran (Ω)	Standar PUIL 2020	Status Kelayakan
1	Penyalur Petir	35 m	0,98	$\leq 5 \Omega$	Layak
2	Panel Distribusi I	35 m	0,63	$\leq 5 \Omega$	Layak
3	<i>Constant Current Regulator</i> (CCR)	35 m	0,67	$\leq 5 \Omega$	Layak
4	Panel Distribusi II	35 m	0,98	$\leq 5 \Omega$	Layak
5	<i>Main Power House</i> (MPH)	30 m	2,08	$\leq 5 \Omega$	Layak
6	Lampu PAPI	5 m	182,33	$\leq 5 \Omega$	Tidak Layak

Berdasarkan Tabel 1, sebanyak lima titik lokasi sistem *grounding* berada pada kondisi aman dengan nilai resistansi jauh di bawah 5Ω . Namun, titik *grounding* Lampu PAPI mengalami penyimpangan nilai yang sangat tinggi yaitu 182,33 Ω .

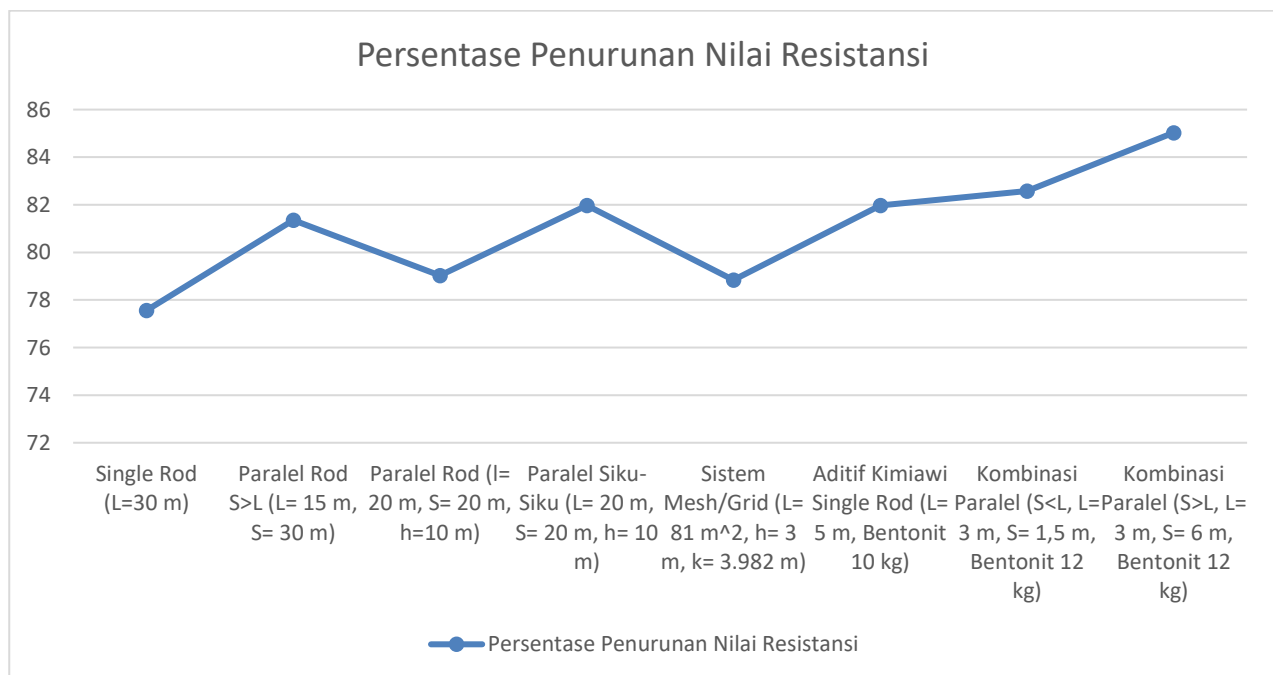
Pembahasan

Pengolahan data dan analisis ilmiah menunjukkan bahwa untuk mengatasi kegagalan nilai resistansi pada titik Lampu PAPI (182,33 Ω), diperlukan langkah perbaikan teknis. Peneliti melakukan simulasi evaluasi terhadap berbagai opsi metode perbaikan secara teoritis. Berdasarkan hasil pengukuran lapangan pada sistem *grounding* Lampu PAPI yang menunjukkan nilai resistansi kritis sebesar 182,33 Ω dan dinyatakan tidak layak berdasarkan standar PUIL 2020 ($\leq 5 \Omega$), diperlukan langkah perbaikan teknis yang tepat. Untuk menentukan metode perbaikan yang paling optimal, efisien, dan aman bagi lingkungan

operasional bandar udara, dilakukan evaluasi matematis serta simulasi teoritis terhadap beberapa pilihan konfigurasi. Simulasi ini membandingkan skenario perbaikan fisik murni—seperti penambahan kedalaman *single rod*, sistem *paralel rod* ($S < L$ dan $S > L$), paralel siku-siku, sistem *mesh/grid* serta perhitungan metode kombinasi menggunakan zat aditif bentonit teraktivasi beserta kombinasinya. Hasil nilai resistansi teoritis (R) akhir beserta persentase tingkat penurunan disajikan secara rinci pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Evaluasi Perhitungan Simulasi Perbaikan *Grounding* PAPI

No	Kategori Metode	Skenario Pemodelan Teknis	Nilai R Simulasi (Ω)	Tingkat Penurunan
1	<i>Single Rod</i>	Kedalaman diperpanjang $L = 30$ m	3,66	77,56%
2	<i>Paralel Rod</i>	2 Batang ($L = 20$ m, $S = 10$ m) [$S < L$]	3,04	81,36%
3	<i>Paralel Rod</i>	2 Batang ($L = 15$ m, $S = 30$ m) [$S > L$]	3,42	79,03%
4	Paralel Siku-Siku	2 Batang ($L = 20$ m, $S = 20$ m, $h = 10$ m)	2,94	81,97%
5	Sistem <i>Mesh/Grid</i>	Luas Grid 9×9 m ² , Kedalaman $h = 3$ m, konduktor = 3.982 m	3,45	78,84%
6	Aditif Kimiawi	<i>Single Rod</i> ($L = 5$ m) + Bentonit Teraktivasi (10 kg)	2,94	81,97%
7	Kombinasi	Pararel ($S < L$, $L = 3$ m, $S = 1,5$ m) + Bentonit Teraktivasi (12 kg)	2,84	82,58
8	Kombinasi	Paralel ($S > L$, $L = 3$ m, $S = 6$ m) + Bentonit Teraktivasi (12 kg)	2,44	85,03 %



Korelasi antara hasil simulasi dengan konsep dasar ketenagalistrikan menunjukkan bahwa penurunan nilai resistansi paling optimal dipengaruhi oleh perluasan area kontak elektroda dan penurunan resistivitas tanah dengan menambahkan zat bentonit teraktivasi. Secara teoritis, penggunaan konfigurasi paralel *rod* dengan jarak antar-elektroda lebih besar dari panjangnya ($S > L$) berhasil menghilangkan efek saling mempengaruhi daerah pengaruh medan listrik antar-batang elektroda. Selain itu, metode kombinasi *single rod* dan paralel *rod* *grounding* dengan menambahkan zat bentonit teraktivasi dapat menurunkan nilai resistansi secara optimal.

Ditinjau dari perbandingan dengan penelitian lain, temuan ini sejalan dengan penelitian Bangun dkk. (2016) yang menyatakan bahwa metode paralel elektroda mampu menurunkan hambatan secara signifikan. Namun, metode kombinasi zat bentonit ini menunjukkan bahwa penerapan aditif bentonit teraktivasi pada lingkungan bandar udara terbukti jauh lebih efisien dalam menghemat kedalaman pemancangan. Tanpa perlu melakukan pemancangan hingga kedalaman 30 meter yang berisiko merusak struktur tanah lapangan terbang/runway, pemasangan batang elektroda secara paralel mampu memberikan penurunan nilai resistansi yang signifikan dengan persentase penurunan 79,03 – 81,97 %. Selain itu, metode kombinasi pemasangan batang elektroda yang dikombinasikan dengan zat bentonit teraktivasi mampu menghasilkan persentase penurunan nilai resistansi 81,97 – 85,03 %. Bentonit teraktivasi berfungsi menyerap air dan mempertahankan kelembaban tanah di sekitar elektroda secara konstan, sehingga resistivitas tanah turun secara drastis.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data pengukuran dan evaluasi teoritis, dapat disimpulkan bahwa 5 dari 6 titik *grounding* di Bandar Udara Cakrabhuwana telah memenuhi persyaratan standar PUIL 2020 ($\leq 5 \Omega$). Titik *grounding* Lampu PAPI berada dalam kondisi tidak layak dengan nilai resistansi 182,33 Ω akibat kedalaman elektroda yang kurang (5 m) serta mengalami korosi parah. Penelitian ini merekomendasikan beberapa langkah evaluasi perbaikan paling efektif berupa melakukan sistem paralel *rod grounding* secara teoritis serta kombinasi batang elektroda dan penambahan zat aditif bentonit teraktivasi, yang mampu menurunkan nilai resistansi PAPI secara teoritis dengan persentase 81,97 - 85,03 %. Penelitian yang dilakukan didasarkan perhitungan secara teoritis dan belum dilakukan pengimplementasian terhadap sistem *grounding* lampu PAPI. Oleh karena itu, saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan implementasi dan pengujian eksperimental langsung di lapangan untuk memverifikasi daya tahan serta pengaruh perubahan cuaca/musim terhadap bentonit teraktivasi pada sistem *grounding* bandar udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelya, P. I., Steven, H., & Gumohung, W. (2024). Efektifitas Zat Adiktif Dalam Memperkecil Resistansi Pentanahan Gedung Pasca Sarjana Universitas Ichsan Gorontalo. *Media ElektriKa*, 17(1), 54–62.
- Amrullah, R., & Kuspranoto, A. H. (2024). Optimalisasi Sistem Grounding Pada Fasilitas Dppu Yia: Studi Kasus Dan Rekomendasi Perbaikan. *Jurnal Pengabdian Multidisiplin Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 1(2), 70–75.
<https://doi.org/10.59485/Abdikestrada.V1i2.90>
- Andini, D., Martin, Y., & Gusmedi, H. (2016). Perbaikan Tahanan Pentanahan Dengan Menggunakan Bentonit Teraktivasi. *Electrician*, 10, 44–53.
- Asmal, A., Mujibur, R., Antarissubhi, & Umar, K. (2022). Analisis Kegagalan System Grounding Pada Pondok Aysah Samata Kabupaten Gowa. *Vertex Elektro*, 14, 33–44.
<https://doi.org/10.26618/jte.V14i1.9146>
- Bangun, K., T. H., & Bambang, S. (2016). Perbaikan Sistem Pentanahan Pada Gedung Listrik Politeknik Negeri Semarang. *Jtet*, 5, 32–40.
<https://doi.org/10.32497/jtet.V5i1.272>
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2011). *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011*. 2011(Puil).
- Kasim, I., Hertog, D. H., & Corio, D. (2016). Analisis Penambahan Larutan Bentonit Dan Garam Untuk Memperbaiki Tahanan Pentanahan Elektroda Plat Baja Dan Batang Batang. *Jetri*, 13, 61–72.



- Li, Z., Chen, H., Zhang, T., Qiao, X., & Shi, X. (2024). *Corrosion Analysis On Grounding Grid Used For 220kv Electrical Equipment* (Issue Cadpc). Atlantis Press International Bv. <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-435-8>
- Mubarok, R., Prasetyono, R. N., & Alfarikhi, Z. (2022). Analisis Sistem Grounding Menggunakan Elektroda Ground Rod Jenis Tembaga Pada Gedung A Dan D Di Universitas Peradaban. *Journal Of Telecommunication, Electronics, And Control Engineering (Jtece)*, 4(2), 100–107. <https://doi.org/10.20895/jtece.V4i2.708>
- Sugiyono, P. D. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif*.