

Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral pada Transformator Distribusi di *Main Power House* Bandar Udara Adisutjipto Yogyakarta

Erwinsyah Harris Saputra¹ Taryana²

Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug,
Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2}

Email: erwinsyah.saputra@injourneyairports.id¹ taryana@ppicurug.ac.id²

Abstrak

Transformator distribusi tiga fasa pada sistem kelistrikan bandara dapat mengalami ketidakseimbangan beban akibat distribusi beban yang tidak merata pada fasa R, S, dan T. Dampak dari ketidakseimbangan beban antar fasa tersebut menimbulkan arus pada penghantar netral dan meningkatkan rugi-rugi daya. Penelitian ini bertujuan menganalisis persentase ketidakseimbangan beban, arus netral, dan *losses* sebelum serta setelah redistribusi beban pada transformator distribusi Unindo 1000 kVA di *Main Power House* Bandara Adisutjipto Yogyakarta pada periode Luar Waktu Beban Puncak (*LWBP*) dan Waktu Beban Puncak (*WBP*). Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-analitis. Data arus fasa R, S, T dan N, tegangan antar-fasa, faktor daya, serta data pembebanan dikumpulkan melalui pengukuran dan dokumentasi. Analisis dilakukan melalui perhitungan matematis dan simulasi ETAP 19.0.1 untuk memodelkan kondisi sebelum dan setelah *load balancing*. Hasil simulasi menunjukkan ketidakseimbangan pada *LWBP* turun dari 25,33% menjadi 5,6%, sedangkan pada *WBP* turun dari 17% menjadi 1,3%. Arus netral pada *LWBP* turun dari 35,7 A menjadi 7,9 A dan pada *WBP* dari 9,6 A menjadi 1,0 A. *Losses* yang dihitung pada penghantar netral turun dari 28 watt menjadi 0,5 watt pada *LWBP* dan dari 11,26 watt menjadi 0,0086 watt pada *WBP*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa redistribusi beban efektif menurunkan ketidakseimbangan, arus netral, dan *losses*. Penelitian lanjutan dapat mengkaji pemantauan beban secara berkala dan penerapan *load balancing* pada seluruh transformator distribusi di lingkungan bandara.

Kata Kunci: ketidakseimbangan beban, arus netral, transformator distribusi, *load balancing*, ETAP 19.0.1



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

PENDAHULUAN

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung kontinuitas operasional bandara. Transformator distribusi berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan tegangan menengah ke jaringan tegangan rendah untuk memasok berbagai beban. Pada sistem tiga fasa empat kawat, perbedaan distribusi beban pada fasa R, S, dan T menyebabkan ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan tersebut menghasilkan arus pada penghantar netral dan dapat menimbulkan rugi-rugi daya. Penelitian terdahulu telah membahas hubungan ketidakseimbangan beban dengan arus netral dan *losses* pada transformator distribusi. Latupeirissa (2017) menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* daya pada trafo distribusi. Syamsiana et al. (2023) membahas *load balancing* pada transformator, sedangkan Jatmiko et al. (2024) mengevaluasi ketidakseimbangan beban terhadap arus netral. Penelitian terbaru oleh Dhika et al. (2025) juga menggunakan ETAP untuk menganalisis ketidakseimbangan transformator distribusi. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini terletak pada penerapan analisis yang menggabungkan data pengukuran lapangan, perhitungan matematis, dan simulasi ETAP 19.0.1 pada transformator Unindo 1000 kVA di *Main Power House* Bandara Adisutjipto Yogyakarta, dengan perbandingan kondisi *LWBP* dan *WBP* serta evaluasi sebelum

dan setelah redistribusi beban. Dengan demikian, penelitian ini memberikan hasil teknis yang lebih spesifik sebagai dasar penataan beban pada sistem distribusi listrik bandara. Tujuan penelitian adalah mengetahui dampak ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* serta mengevaluasi perubahan kondisi setelah penyeimbangan beban.

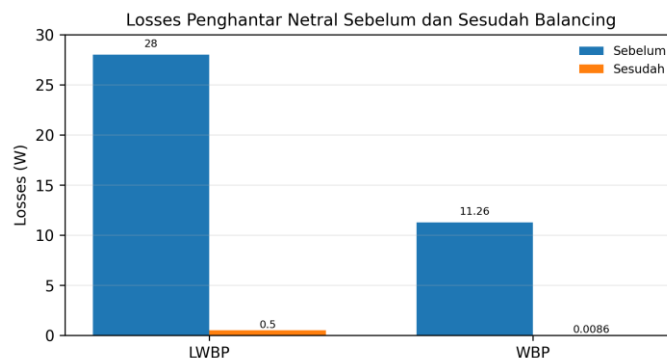
Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Metode	Hasil	Relevansi
1	Latupeirissa (2017)	Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan <i>Losses</i> Daya Pada Trafo Distribusi	Perhitungan & pengukuran	Menganalisis arus netral dan <i>losses</i> akibat ketidakseimbangan.	Dasar hubungan ketidakseimbangan- arus netral- <i>losses</i> .
2	Sari (2018)	Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan <i>Losses</i> pada Trafo Distribusi	Studi kasus	Menentukan keseimbangan beban dan <i>losses</i> .	Pembandingan studi kasus transformator distribusi.
3	Syamsiana et al. (2023)	<i>Balancing Load</i> Outgoing Transformator 2 di Politeknik Negeri Malang	<i>Load balancing</i>	<i>Balancing</i> digunakan untuk memperbaiki distribusi beban.	Mendukung metode redistribusi beban.
4	Jatmiko et al. (2024)	Evaluasi Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Transformator	Evaluasi pengukuran	Menunjukkan keterkaitan ketidakseimbangan dengan arus netral.	Memperkuat analisis arus netral.
5	Dhika et al. (2025)	Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Distribusi di Bekasi Power dengan ETAP	Simulasi ETAP	ETAP digunakan untuk mengevaluasi kondisi beban transformator.	Mendukung penggunaan ETAP 19.0.1.

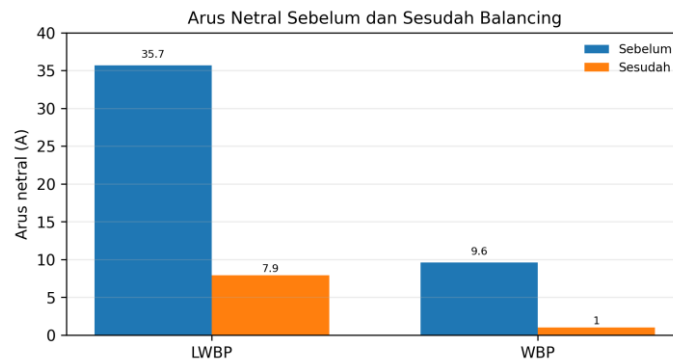
METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-analitis. Lokasi penelitian adalah Panel *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP) di *Main Power House* Bandara Adisutjipto Yogyakarta. Objek penelitian berupa transformator distribusi Unindo tiga fasa 1000 kVA, 20 kV/400 V, 50 Hz, dengan pendinginan ONAN. Pengambilan data dilakukan pada periode *LWBP* dan *WBP* sesuai *operating hours* bandara. Data primer meliputi arus fasa R, S, T dan N, tegangan antar-fasa, faktor daya, serta pembebanan. Data sekunder meliputi nameplate transformator, *single line diagram*, data operasi, dan referensi standar. Data dianalisis melalui perhitungan pembebanan, rata-rata arus, persentase ketidakseimbangan, arus netral, dan *losses*. Selanjutnya kondisi sistem disimulasikan dengan ETAP 19.0.1, dilakukan redistribusi beban terutama dengan memindahkan sebagian beban dari fasa R ke fasa T, kemudian simulasi diulang untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah *balancing*.

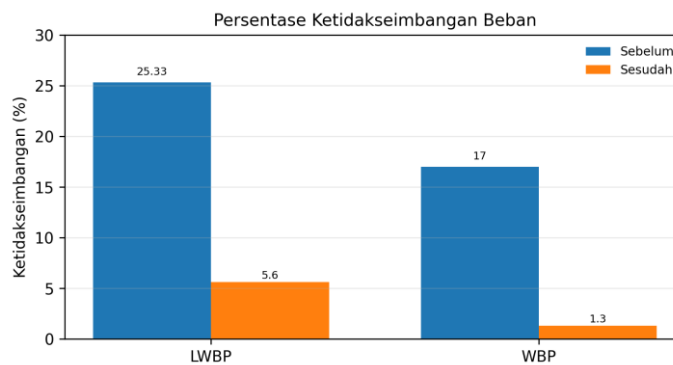
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN



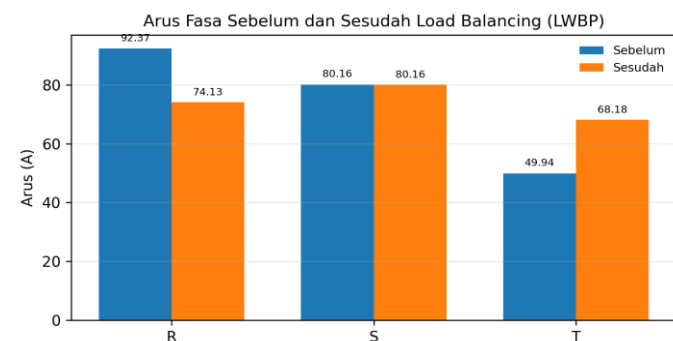
Grafik 1. *Losses* Penghantar Netral Sebelum Dan Setelah *Balancing*



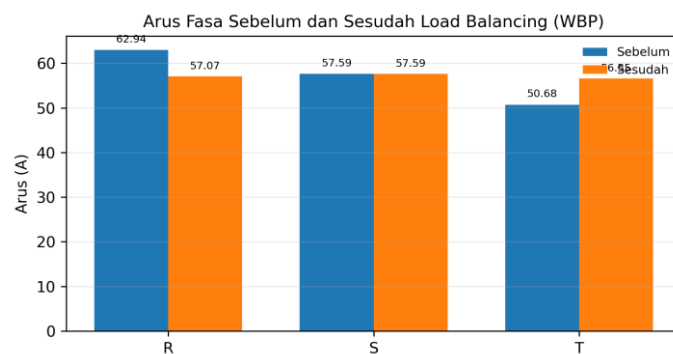
Grafik 2. Arus netral sebelum dan setelah *balancing*



Grafik 3. Persentase ketidakseimbangan beban sebelum dan setelah *balancing*



Grafik 4. Arus fasa sebelum dan setelah *load balancing* pada kondisi LWBP



Grafik 5. Arus fasa sebelum dan setelah *load balancing* pada kondisi WBP

Hasil Penelitian

Transformator yang dilakukan penelitian memiliki rating 1000 kVA, tegangan primer 20 kV, tegangan sekunder 400 V, arus nominal sekunder 1443,4 A, dan sistem pendinginan

ONAN. Hasil pengukuran dan pemodelan menunjukkan adanya perbedaan arus antar-fasa pada kondisi awal.

Tabel 1. Hasil Simulasi Arus Fasa Dan Arus Netral Sebelum Dan Setelah Penyeimbangan Beban

Periode	R Sebelum (A)	S Sebelum (A)	T Sebelum (A)	N Sebelum (A)	R Sesudah (A)	S Sesudah (A)	T Sesudah (A)	N Sesudah (A)
LWBP	92,37	80,16	49,94	35,7	74,13	80,16	68,18	7,9
WBP	62,94	57,59	50,68	9,6	57,07	57,59	56,55	1,0

Tabel 2. Persentase Ketidakseimbangan Beban Sebelum Dan Setelah Penyeimbangan Beban

Periode	Sebelum penyeimbangan beban	Setelah penyeimbangan beban	Penurunan
LWBP	25,33%	5,6%	19,73 poin persentase
WBP	17,0%	1,3%	15,7 poin persentase

Tabel 3. Perubahan Arus Netral Hasil Simulasi ETAP 19.0.1

Periode	Arus Netral Sebelum	Arus Netral Sesudah	Penurunan
LWBP	35,7 A	7,9 A	27,8 A (77,9%)
WBP	9,6 A	1,0 A	8,6 A (89,6%)

Tabel 4. Perubahan Losses Pada Penghantar Netral

Periode	Losses Sebelum	Losses Sesudah	Penurunan
LWBP	28 W	0,5 W	27,5 W (98,2%)
WBP	11,26 W	0,0086 W	11,2514 W (99,92%)

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban yang lebih besar diikuti oleh munculnya arus netral yang lebih tinggi. Pada *LWBP*, kondisi awal memiliki ketidakseimbangan 25,33% dan arus netral 35,7 A. Setelah redistribusi beban, ketidakseimbangan turun menjadi 5,6% dan arus netral menjadi 7,9 A. Pada *WBP*, ketidakseimbangan turun dari 17% menjadi 1,3%, sedangkan arus netral turun dari 9,6 A menjadi 1,0 A. Pola tersebut menunjukkan bahwa pemerataan arus antar-fasa secara langsung mengurangi besar nilai arus yang mengalir pada penghantar netral. Penurunan arus netral juga menurunkan *losses*, perubahan arus netral dari 35,7 A menjadi 7,9 A pada *LWBP* menghasilkan penurunan *losses* dari 28 watt menjadi 0,5 watt. Pada *WBP*, *losses* turun dari 11,26 watt menjadi 0,0086 watt. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban berkaitan dengan arus netral dan rugi daya pada transformator distribusi. Secara praktis, redistribusi dilakukan dengan memindahkan sebagian beban dari fasa R ke fasa T, sedangkan beban pada fasa S dipertahankan. Hasil ETAP menunjukkan kondisi setelah *load balancing* menjadi lebih mendekati seimbang. Evaluasi berdasarkan Edaran Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0017.E/DIR/2014 menunjukkan bahwa kondisi awal *LWBP* berada pada kategori buruk dan *WBP* pada kategori cukup, sedangkan setelah penyeimbangan masing-masing berada pada kategori baik. Temuan ini menjadi dasar teknis untuk pemantauan beban berkala dan penataan beban pada transformator distribusi.

KESIMPULAN

Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi Unindo 1000 kVA di *Main Power House* Bandara Adisutjipto Yogyakarta menyebabkan munculnya arus pada penghantar netral dan *losses*. Hasil simulasi ETAP 19.0.1 menunjukkan bahwa redistribusi beban menurunkan ketidakseimbangan dari 25,33% menjadi 5,6% pada *LWBP* dan dari 17%

menjadi 1,3% pada *WBP*. Arus netral turun dari 35,7 A menjadi 7,9 A pada *LWBP* dan dari 9,6 A menjadi 1,0 A pada *WBP*. Losses turun dari 28 watt menjadi 0,5 watt pada *LWBP* dan dari 11,26 watt menjadi 0,0086 watt pada *WBP*. Dengan demikian, *load balancing* efektif memperbaiki distribusi arus, mengurangi arus netral, dan menekan *losses* pada sistem distribusi. Keterbatasan penelitian adalah analisis difokuskan pada satu transformator dan periode pengamatan tertentu; penelitian berikutnya dapat mengembangkan pemantauan berbasis data historis dan menerapkan *load balancing* secara berkala pada seluruh transformator distribusi di lingkungan bandara.

DAFTAR PUSTAKA

- Dhika, H., Prasetyo, Y., & Supardi, A. (2025). Analisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di Bekasi Power dengan menggunakan ETAP Power Station 19.01.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1996). IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications (IEEE Std 446-1995).
- Jatmiko, H. B., Trihasto, A., & Pravitasari, D. (2024). Evaluasi ketidakseimbangan beban terhadap arus netral pada transformator di Gardu Induk 150 kV Secang.
- Latupeirissa, H. L. (2017). Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses daya pada trafo distribusi. *Jurnal Simetrik*, 7(2), 68–73. <https://doi.org/10.31959/js.v7i2.43>
- PT PLN (Persero). (2007). SPLN D3.002-1:2007 Spesifikasi Transformator Distribusi.
- PT PLN (Persero). (2014). Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset.
- Siburian, J. (2019). Karakteristik transformator. *Jurnal Teknologi Energi UDA*, VIII(1), 21–28.
- Syamsiana, I. N., Prasetyo, B. E., Hassidiqi, H., & Firdaus, S. F. (2023). Balancing load outgoing Transformator 2 di Politeknik Negeri Malang. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(3), 201–207. <https://doi.org/10.33795/elposys.v10i3.4266>