Perhitungan *Knee Point* dan Rasio pada *Current Transformer* Sisi 20 KV pada Penyulang Nissan di PT PLN (Persero) Gardu Induk Natar

Sri Suryani[1],Yenni Afrida [2], Andria Sugiyono [3], Jeckson [4] , Fitrono[5]

Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Lampung, Bandar Lampung
Jl. Zainal Abidin Pagar Alam No.14 Bandar Lampung 35142
[1]Srisuryani57@gmail.com
[2] yenni.afrida@uml.ac.id
[3]andriasugiyono@gmail.com
[4]jeckson@uml.ac.id
[5]fitriono.umlampung@gmail.com

Intisari — **Peran transformator arus dalam jaringan listrik sangat penting dan harus berfungsi sesuai dengan kemampuannya. Setiap transformator arus yang akan digunakan oleh PLN harus memenuhi standar yang telah ditetapkan dalam SPLN. Transformator arus yang sesuai standar harus dapat melewati beberapa pengujian, salah satunya dengan menghitung knee point dan rasio. Oleh karena itu, diperlukan analisis perhitungan knee point dan rasio pada transformator arus kubikel penyulang 20 kV. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja Current Transformer (CT) pada Penyulang NISSAN di Gardu Induk (GI) Natar berdasarkan data hasil pengujian. Hasil pengujian menunjukkan variasi nilai pada setiap parameter yang diuji. Berdasarkan analisis data, CT merek Trafindo dengan rasio 800/5 A memiliki tingkat error minimum sebesar 0,226% hingga 0,225%. Sesuai dengan standar SKDIR, hasil pengujian knee point dan rasio menunjukkan bahwa semua sampel CT masih dalam kondisi baik. Analisis lebih lanjut terhadap knee point pada sisi sekunder core proteksi menunjukkan bahwa arus knee point rata-rata sebesar 0,05 A, yang mengindikasikan bahwa CT memenuhi persyaratan dan memiliki waktu kejenuhan yang lebih lama. Namun, pada sisi sekunder pengukuran, kurva knee point menunjukkan bahwa kejenuhan terjadi lebih cepat, menandakan tingkat saturasi yang lebih rendah. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa CT yang digunakan pada Penyulang NISSAN GI Natar masih dalam kondisi baik (usable condition) dan siap untuk pembebanan.**
Kata kunci — **Current Transformer (CT), knee point, rasio, kejenuhan, Penyulang NISSAN.**

Abstract — **The role of current transformers in the electrical network is crucial, and they must function according to their capabilities. Every current transformer used by PLN must meet the standards set in the SPLN. A standard-compliant current transformer must pass several tests, one of which is by calculating the knee point and ratio. Therefore, an analysis of the knee point and ratio calculations is necessary for the cubicle feeder current transformer at 20 kV. This study aims to analyze the performance of the Current Transformer (CT) on the NISSAN Feeder at the Natar Substation (GI) based on test data. The test results show variations in values across different tested parameters. Based on data analysis, the Trafindo brand CT with a ratio of 800/5 A has a minimum error rate ranging from 0.226% to 0.225%. According to SKDIR standards, the knee point and ratio test results indicate that all CT samples are still in good condition. Further analysis of the knee point on the secondary side of the protection core shows that the average knee point current is around 0.05 A, indicating that the CT meets the requirements and has a longer saturation time. However, on the secondary side of the measurement, the knee point curve shows that saturation occurs more quickly, indicating a lower saturation level. Overall, the results of this study conclude that the CT used on the NISSAN Feeder at GI Natar is still in good condition (usable condition) and ready for loading.**
Keywords— **Current Transformer (CT), knee point, Ratio, saturation, NISSAN Feeder.**

I. PENDAHULUAN

Listrik sudah menjadi kebutuhan pokok masyarakat. Hal ini didukung dengan perkembangan teknologi pada perangkat yang menggunakan listrik sebagai sumber energinya.

Perangkat listrik ini semakin memudahkan dan nyaman bagi masyarakat untuk beroperasi. PLN (Persero) sebagai penyedia tenaga listrik harus menjamin keandalan jaringan tenaga listrik untuk menjaga kontinuitas penyediaan tenaga listrik dan menjamin kelangsungan ketersediaan tenaga listrik bagi masyarakat. Saat mendistribusikan

daya, diperlukan perangkat untuk menurunkan tegangan: transformator. Untuk pengukuran dan perlindungan instalasi listrik, transformator arus diperlukan untuk mengubah besaran arus pada sisi primer instalasi listrik besar menjadi arus yang lebih kecil dengan lebih akurat dan akurat.

Trafo arus digunakan untuk pengukuran tidak langsung, arus beban yang mengalir ke konsumen yang dilanjutkan dengan membatasinya dan menjadi data untuk pengukuran. Data masukan berasal dari trafo arus berupa besaran arus dengan membandingkan belitan primer atau sekunder. Selain itu, arus yang terukur dapat digunakan sebagai input data untuk perangkat keamanan jaringan seperti proteksi OCR dan GFR penyulang. Peran trafo arus dalam jaringan listrik sangat penting dan harus bekerja sesuai dengan fungsi dan kemampuannya. Setiap trafo arus yang digunakan PLN harus memenuhi kriteria standar yang ditetapkan dalam SPLN D3.0141:2009 atau SK DIR 0520:2014.

Menurut standar ini, transformator arus harus melewati beberapa pengujian dengan menghitung Knee point dan Rasio pada Current Transformer. Oleh karena itu, perhitungan titik lutut dan rasio transformator arus medan 20kV harus dianalisis.

Pada Bay TD 2 30MVA di Gardu Induk Natar, terdapat satu penyulang (outgoing) yang belum dioperasi yaitu Penyulang NISSAN, dan akan dilakukan pembebanan, dan syarat pembebanan salah satunya harus dilakukan pengujian Knee point dan Rasio Pada Current Transformer untuk mengetahui apakah layak tidaknya penyulang tersebut dibebani atau tidak. Maka dari itu penelitian ini mengambil judul "Studi Perhitungan *Knee point* Dan Rasio Pada Current Transformer Sisi 20 kV Pada Penyulang Nissan di PT PLN (Persero) Gardu Induk Natar.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Transformator Arus (Current Transformer/CT)

Transformator arus (CT) adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur arus listrik dan memberikan isolasi antara sirkuit primer dengan sistem pengukuran atau proteksi. CT berfungsi untuk menurunkan arus tinggi ke tingkat yang lebih aman untuk pengukuran dan perlindungan sistem tenaga listrik [1]. Dalam aplikasi sistem distribusi, CT sering digunakan pada penyulang 20 kV untuk memastikan kestabilan dan keandalan sistem distribusi tenaga listrik [2].

B. Knee Point dan Rasio pada Transformator Arus

Knee point adalah tegangan pada sisi sekunder transformator arus di mana arus sekunder mulai mengalami peningkatan yang signifikan terhadap perubahan kecil pada tegangan primer. Parameter ini penting untuk menentukan kemampuan CT dalam kondisi beban berlebih dan untuk aplikasi proteksi relai diferensial [3].

Sementara itu, rasio CT mengacu pada perbandingan antara arus primer dan arus sekunder yang dihasilkan. Rasio yang tepat sangat penting untuk memastikan akurasi pengukuran dan efektivitas sistem proteksi. Standar seperti IEC 60044-1 dan SPLN telah mengatur batas toleransi rasio untuk memastikan kinerja CT tetap optimal [4]

C. Analisis Kejenuhan pada CT

Kejenuhan (*saturation*) pada CT terjadi ketika medan magnet di dalam inti besi mencapai batas maksimum, menyebabkan distorsi dalam keluaran arus sekunder. CT yang mengalami kejenuhan dapat menyebabkan kesalahan pengukuran dan gangguan dalam operasi sistem proteksi [5]. Untuk itu, perhitungan knee point dan analisis kejenuhan sangat penting untuk menentukan apakah suatu CT masih dapat digunakan atau perlu diganti.

D. Standar dan Regulasi Terkait CT di Sistem Distribusi 20 kV

Dalam sistem distribusi PLN, transformator arus harus memenuhi standar yang ditetapkan dalam SPLN maupun IEC untuk memastikan keandalan operasional. Pengujian knee point dan rasio menjadi bagian penting dalam evaluasi kualitas CT sebelum dipasang pada penyulang 20 kV, seperti pada Penyulang NISSAN di PT PLN (Persero) Gardu Induk Natar [6].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dari pengujian yang dilakukan di Knee Point Dan Rasio Penyulang Nissan.

Hasil dari pengujian yang dilakukan di Knee Point Dan Rasio Pada Current Transformer Sisi 20 kV Pada Penyulang Nissan di PT PLN (Persero) Gardu Induk Natar diperoleh data- data sebagai berikut:

1) Hasil Pengujian RDC (*Resistance*)

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Resistance

NO	Penyulang	PHASA	CORE	RDC (ohm)
1	NISSAN	R	1s1 – 1s3	0.3944
		S		0.5214
		T		0.2445
		R	2s1 – 2s3	0.2444
		S		0.2305
		T		0.2364

2) Hasil Pengujian Rasio

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Ratio

NO	Penyulang	PHASA	CORE	Ratio Terukur		ERROR (%)
1	NISSAN	R	1s1 – 1s3	800	5.0110	0.2211
		S			5.0111	0.2226
		T			5.0107	0.2158
		R	2s1 – 2s3	800	4.9969	0,0621
		S			4.9965	0,0687
		T			4.9967	0,0653

3) Hasil Pengujian Knee Point

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Knee Point

NO	Penyulang	PHASA	CORE	I	V Pengujian	V Perhitungan
1	NISSAN	R	1s1 – 1s3	0.055	144.031	146
		S		0.056	146.26	146
		T		0.056	145.843	146
		R	2s1 – 2s3	0.052	37.193	36,5
		S		0.051	37.036	36,5
		T		0.050	36.999	36,5

B. Perhitungan Knee Point Dan Rasio Pada Current Transformer Sisi 20 Kv

Kesalahan perbandingan/rasio trafo arus berdasarkan IEC–60044-1 Edisi 1.2 tahun 2003 adalah kesalahan besaran arus karena perbedaan rasio pengenal trafo arus dengan rasio sebenarnya. Dengan rumus Kesalahan Perbandingan/Rasio dapat dihitung dengan data pengujian sebagai berikut :

1) K = Ratio Sekunder Name Plate / Ratio Primer Nameplate

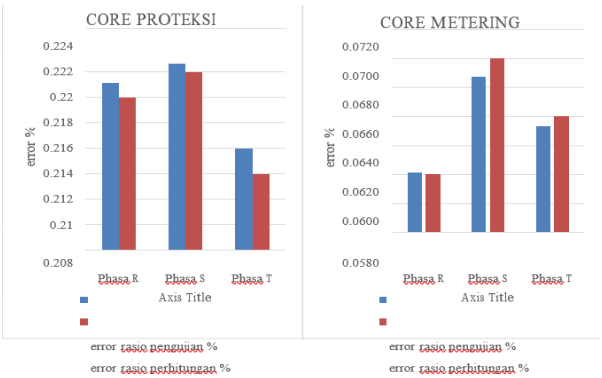
Primer Nameplate = 800 A / 5A = 160

- Phasa R core Proteksi
  Ratio Primer terukur = 800 A
  Ratio Primer terukur = 5.0111A
  Erorr CT = 0,2220%
- Phasa T core Proteksi
  Ratio Primer terukur = 800 A
  Ratio Primer terukur = 5.0111A
  Error CT = 0,2220%
- Phasa S core Proteksi
  Ratio Primer terukur = 800 A
  Ratio Primer terukur = 5.0107 A
  Error CT = 0,2140%
- Phasa R core Metering
  Ratio Primer terukur = 800 A
  Ratio primer terukur = 4.9969 A
  Error CT = 0.0620 %
- Phasa S core Metering
  Ratio Primer terukur = 800 A
  Ratio primer terukur = 4.9965 A
  Error CT = 0.0700%
- Phasa T core Metering
  Ratio Primer terukur = 800 A
  Ratio primer terukur = 4.9965 A
  Error CT = 0.0660%

Setelah dilakukan perhitungan, dilakukan perbandingan dengan alat uji

Tabel 5. Perbandingan Hasil Pengujian dan Perhitungan Ratio

No	Penyulang	PHASA	CORE	Ratio Terukur	Ratio Terukur	ERROR (%)	ERROR Perhitungan (%)
1	NISSAN	R	1s1 – 1s3	800	5.0110	0.2211	0.2200
		S			5.0111	0.2226	0.2220
		T			5.0107	0.2158	0.2140
		R	2s1 – 2s3	800	4.9969	0.0621	0.0620
		S			4.9965	0.0687	0.0700
		T			4.9967	0.0653	0.0660



Gbr. 1 Perbandingan hasil pengujian dan perhitungan Ratio

Perhitungan Tegangan Sekunder untuk CT (V Knee) pada titik Saturasinya Dengan rumus Perhitungan Tegangan Sekunder untuk CT (V Knee) pada titik Saturasinya dapat dihitung berdasarkan Spesifikasi CT Merek Trafindo yang digunakan sebagai berikut :

VA nameplate : 30 VA
ALF (metering) : 20 CT
FS (metering) : 5 CT
RCT : 0,26 spec CT
Rasio Sekunder : 5A
VS core proteksi = 146 V
VS core metering = 36,5 V

Setelah dilakukan perhitungan, dilakukan perbandingan dengan alat uji dengan hasil seperti pada tabel 6.

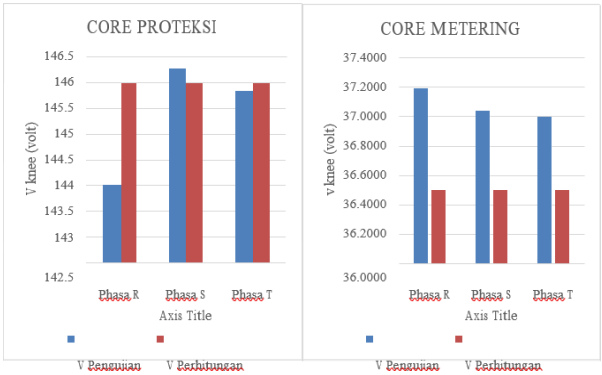
C. Pembahasan Hasil Pekerjaan / Pengamatan

Berdasarkan data hasil pengujian CT Penyulang NISSAN di GI Natar, menampilkan hasil yang bervariasi untuk setiap pengujian. Jika dilihat dari hasil data sample uji trafo diatas bisa dianalisa bahwa CT merek Trafindo dengan rasio 800/5 A pada penyulang Nissan GI Natar ini memiliki tingkat *error* (persentase minimum) terendah sebesar 0,226% sampai dengan 0,225%. Menurut SKDIR, pada pengujian knee point dan rasio, semua sampel CT teruji masih dalam kondisi baik. Dilihat dari *knee point* pada sisi sekunder core proteksi, arus *knee point* rata-rata sekitar 0,05A, sehingga CT memenuhi syarat. membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai tingkat kejenuhan yang lebih tinggi.

Di sisi lain, kurva *knee point* berada di sisi sekunder pengukuran CT mengalami kejenuhan lebih cepat (tingkat saturasi lebih rendah). Sehingga CT yang digunakan pada Penyulang NISSAN GI Natar masih dalam kondisi baik (*usable condition*) dan siap untuk dilakukan pembebanan.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Pengujian dan Perhitungan Ratio

No	Penyulang	PHASA	CORE	Ratio Terukur	Ratio Terukur	ERROR (%)	ERROR Perhitungan (%)
1	NISSAN	R	1s1 – 1s3	800	0,055	144,031	146
		S			0,056	144,26	146
		T			0,056	145,834	146
		R	2s1 – 2s3	800	0,052	37,193	36,5
		S			0,051	37,036	36,5
		T			0,050	36,999	36,5



Gbr. 2 Perbandingan hasil pengujian dan perhitungan

IV. PENUTUP

Pengujian rasio CT bertujuan untuk membandingkan rasio transformasi antara arus primer dan sekunder guna memastikan kesesuaiannya dengan name plate transformator arus. Sementara itu, pengujian *knee point* dilakukan untuk menentukan tegangan knee berdasarkan referensi dari name plate serta kurva magnetisasi pada setiap inti (*core*), yang selanjutnya dibandingkan dengan kebutuhan tegangan pada rangkaian sekunder (Vs) saat terjadi gangguan hubung singkat maksimum. Selain itu, pengujian rasio error dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian perbandingan lilitan primer dan sekunder CT dalam batas toleransi ≤ 3%, sehingga dapat dipastikan bahwa CT berada dalam kondisi optimal dan andal.

Pengujian *knee point* juga berfungsi untuk menentukan titik kejenuhan pada sisi sekunder CT, baik dalam sistem metering maupun proteksi, guna memastikan keakuratan pembacaan arus pengukuran dan arus gangguan. Hasil pengujian dan perhitungan knee point serta rasio pada CT Penyulang Nissan di Gardu Induk Natar menunjukkan bahwa CT dalam kondisi baik dan siap untuk pembebanan.

REFERENSI

[1] Pabla, A. S. (2012). *Electric Power Distribution*. McGraw-Hill.
[2] Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The Art of Electronics*. Cambridge University Press.
[3] IEC 60044-1. (2003). *Instrument Transformers - Part 1: Current Transformers*. International Electrotechnical Commission.
[4] SPLN 46-1:2002. (2002). *Standar PLN untuk Transformator Arus*. PT PLN (Persero).
[5] Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2014). *Protective Relaying: Principles and Applications*. CRC Press.
[6] IEEE Std C57.13-2016. (2016). *IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers*. IEEE.
[7] Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2014). Protective Relaying: Principles and Applications. CRC Press.
[8] IEC 60044-1. (2003). Instrument Transformers - Part 1: Current Transformers. International Electrotechnical Commission.
[9] PT PLN (Persero). (2020). SK.DIR.0520 – Standar Kinerja Transformator Arus pada Sistem Distribusi PLN