

EVALUASI FLUKTUASI TEGANGAN LISTRIK DI FASILITAS RADIOMETALURGI

Asep Fathudin, Saud MT, Haris Gunawan
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Pada sistem distribusi listrik di Instalasi Radiometalurgi saat ini sering terjadi fluktuasi tegangan listrik dan tegangan tidak seimbang pada fasa-fasanya. Keadaan tersebut kalau dibiarkan terus menerus maka akan menyebabkan gangguan yaitu terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan peralatan. Hal tersebut diperlukan suatu tindakan untuk mencari penyebabnya, maka dilakukan evaluasi terhadap gangguan tersebut dengan cara studi literatur yang berkaitan dengan topik masalah fluktuasi tegangan listrik dan beban tidak seimbang, kemudian mengumpulkan data pemeriksaan tegangan listrik, arus listrik, tahanan gulungan motor listrik dan temperatur peralatan listrik menggunakan Multimeter, Thermometer Infrared dan Thermograf Infrared. Data yang diperoleh ditata dan dilakukan perhitungan kemudian dianalisa dan hasilnya dibandingkan dengan standar yang berlaku. Berdasarkan data evaluasi diperoleh data sebagai berikut: terjadi peningkatan tegangan pada tanggal 8 Agustus 411 Volt, 17 Oktober 414 Volt dan 23 Oktober 423 volt untuk sistem distribusi tiga fasa. Temperatur pada motor listrik dan beberapa peralatan listrik terukur 53^oC sampai dengan 74^oC. Besarnya peningkatan tegangan 43 volt, hal tersebut melebihi standar Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) yaitu $\leq 10\%$. Temperatur tertinggi terjadi pada motor listrik namun masih batas aman yaitu $\leq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk isolasi kelas F.

Kata kunci: Meningkatkan, tegangan, temperatur, kerusakan

PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Di Instalasi Radiometalurgi (IRM) sering kali terjadi fluktuasi tegangan yaitu tegangan yang didistribusikan ke pemakai sering meningkat atau menurun yang diiringi tegangan tidak seimbang antara fasanya.

Tegangan listrik yang normal untuk distribusi 3 fasa adalah 380 Volt. Keadaan tersebut kalau dibiarkan terus menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan peralatan.

Kondisi di Instalasi Radiometalurgi selain terjadi fluktuasi tegangan terjadi *unbalance* antara fasanya. *Unbalance* lebih sering disebabkan oleh variasi dari beban.

Ketika beban satu fasa dengan fasa lain berbeda, maka saat itulah kondisi *unbalance* terjadi. Hal ini disebabkan oleh impedansi, tipe beban, atau jumlah beban berbeda satu fasa dengan fasa lain. Misal satu fasa dengan beban motor satu fasa, sedangkan fasa lain dengan beban lampu atau kapasitor. Keseimbangan beban antar fasa diperlukan untuk pemerataan beban maka sistem harus didesain dengan baik agar kerugian dalam pengoperasian dapat dikurangi, perlu diperhatikan pengaturan dalam keseimbangan beban.

Beban tidak seimbang yang diindikasikan dengan terjadinya peningkatan tegangan listrik pada fasa-fasanya, hal tersebut diperlukan suatu tindakan untuk mencari penyebabnya, maka dilakukan evaluasi terhadap meningkatnya tegangan listrik tersebut dengan cara studi literatur, mengumpulkan data pemeriksaan tegangan listrik pada panel beban-beban yang besar menggunakan Multimeter dan pemeriksaan temperatur peralatan listrik menggunakan *Infrared Thermography*. Data yang diperoleh ditata dan dilakukan perhitungan kemudian dianalisa dan hasilnya dibandingkan dengan standar yang berlaku.

TEORI

Tegangan Tidak Seimbang (*Voltage Unbalance*)

Voltage Unbalance artinya voltage yang tersedia di ketiga fasanya tidak sama, ini dapat terjadi di sistem distribusi dimana saja. Ini dapat menimbulkan masalah serius pada motor dan peralatan-peralatan listrik dengan sistem induksi tiga fasa. Memang kondisi *balance* secara sempurna tidak akan pernah tercapai, namun harus diminimalkan.

Kondisi *unbalance* lebih sering disebabkan oleh variasi dari beban. Ketika beban satu fasa dengan fasa lain berbeda, maka saat itulah kondisi *unbalance* terjadi. Hal ini mungkin disebabkan oleh impedansi, tipe beban, atau jumlah beban berbeda satu fasa dengan fasa lain. NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) memberikan rekomendasi : motor dapat dioperasikan secara normal pada kapasitas *rated* jika *unbalance voltage* tidak lebih dari 1%

Akibat *Unbalance Voltage*

Akibat dari *unbalance voltage* hampir semua kerusakan terjadi pada isolasi *winding*. Umur isolasi *winding* berkurang setengahnya setiap kenaikan temperatur 10°C. NEMA memberikan rekomendasi : motor dapat dioperasikan secara normal pada kapasitas *rated* jika *unbalance voltage* tidak lebih dari 1%.

Menghitung *unbalance*

NEMA memberikan cara menghitung *unbalance* :

$$V\% \text{ Unbalance} = \frac{\text{selisih antara maksimum tegangan dan tegangan rata-rata}}{\text{Tegangan rata-rata}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Prosentase Kenaikan Temperatur} = 2 \times (\%V_{\text{unbalance}})^2 \quad (2)$$

Sehingga nilai temperatur pada motor saat mengalami peningkatan tegangan adalah :

$$\text{Temperatur normal} = T_{\text{normal}} \times (100\% + \% \text{ kenaikan temperatur}) \quad (3)$$

Perubahan Arus

Tegangan tidak seimbang pada motor menyebabkan pada arus listrik. Kenaikan arus yang sedikit tetap akan menyebabkan temperatur dan daya yang hilang semakin besar sesuai dengan persamaan di bawah:

$$P_{\text{los}} = I^2 \cdot R \quad (4)$$

dimana, P_{los} = Daya hilang (watt)

I = Arus listrik (amper)

R = Resistansi (ohm)

Daya yang hilang sebanding dengan kuadrat arus listrik, maka akan mempengaruhi walaupun perubahan arusnya kecil

Thermography

Thermography atau *thermal imaging* adalah suatu teknik dimana energi inframerah yang tidak terlihat secara kasat mata, dipancarkan oleh obyek kemudian diubah menjadi gambar panas secara visual. *Infrared Thermography* dapat dianggap sebagai pemetaan panas tanpa sentuhan dan analisa pola panas pada permukaan objek.

Thermography juga dapat digunakan sebagai cara untuk menginspeksi peralatan listrik atau mekanis untuk menentukan ketidaknormalan fungsi dengan memperoleh pola panasnya. Metode Inspeksi ini didasarkan pada kenyataan sebagian besar komponen di dalam suatu sistem yang akan menunjukkan kenaikan atau penurunan temperatur jika terjadi malfungsi. Peningkatan temperatur dalam rangkaian listrik mungkin disebabkan oleh koneksi kendor atau sekering yang mengalami beban lebih.

Dengan *Thermography* kita dapat mengamati pola panas pada saat komponen sistem beroperasi, kerusakan atau gangguan dapat dilokalisir dan keparahannya dapat langsung dievaluasi. Kontak secara fisik terhadap sistem tidak lagi diperlukan, inspeksi dengan *Thermography* dapat dilakukan dalam kondisi beroperasi penuh tanpa menghasilkan kerugian operasi atau menghentikan operasi tersebut. Sedangkan Thermometer infra merah adalah sebuah alat yang dapat digunakan untuk mengukur temperatur sebuah objek secara optic, yaitu tidak harus dilakukan dengan sentuhan pada objek yang ingin di ukur temperaturnya. Pengukuran temperatur dilakukan radiasi energi sinar infra merah yang kemudian dapat digambarkan dalam bentuk besaran temperatur. Dikarenakan metode pengukuran yang digunakan tidak perlu menyentuh objek yang perlu diukur, resiko keselamatan pun dapat dijaga.

Avometer

Avometer berasal dari kata "AVO" dan "meter". 'A' artinya ampere, untuk mengukur arus listrik. 'V' artinya voltase, untuk mengukur voltase atau tegangan. 'O' artinya ohm, untuk mengukur ohm atau hambatan. Terakhir, yaitu meter atau satuan dari pengukuran AVO Meter sering disebut dengan Multimeter atau Multitester. Secara umum, pengertian dari AVO meter adalah suatu alat untuk mengukur arus, tegangan, baik tegangan bolak-balik (AC) maupun tegangan searah (DC) dan hambatan listrik.

Kelas Isolasi Pada Motor Listrik

Keterangan mengenai kelas isolasi menjelaskan kemampuan isolasi yang digunakan pada kawat gulungan (*winding*) suatu motor listrik terhadap perubahan atau kenaikan temperatur atau temperatur yang dapat di toleransi oleh bahan gulungan motor listrik tersebut sehingga dapat berfungsi sebagai bahan isolator sebelum melebihi batas tembus tegangan Tabel 1. Kemampuan kawat isolator pada gulungan motor listrik

Tabel Insulation Class				
Temperature Tolerance Class	Maximum Operation		Allowable Temperature Rise at full load	Allowable Temperature Rise at full load
	Temperature Allowed		1.0 service factor motor 1)	1.15 service factor motor 1)
	oC	oF	oC	oC
A	105	221	60	70
B	130	266	80	90
F	155	311	105	115
H	180	356	125	-

METODOLOGI

Pengumpulan data yang diperlukan diperoleh dari studi literatur yang berkaitan dengan topik masalah meningkatnya tegangan listrik, data terkait *layout* instalasi kelistrikan di IRM, pemeriksaan beban-beban listrik menggunakan multi meter dan temperatur peralatan listrik menggunakan *infrared thermography* dan *thermometer infrared* seperti ditunjukkan pada Gambar di bawah.



Gambar 1. Thermograf Infrared, thermometer infrared dan Multi Meter Fluke

Data-data yang telah diperoleh disusun dan dilakukan perhitungan kemudian dianalisa dan hasilnya dibandingkan dengan standar yang berlaku.

HASIL dan PEMBAHASAN

Sumber daya listrik dari PLN di fasilitas Radiometalurgi menggunakan 2 buah transformator yaitu: TR 301 dan TR 302. Masing-masing transformator memasok beban yang berbeda. Beban tersebut yang paling banyak digunakan untuk motor listrik. Berdasarkan pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 di bawah, kondisi sekarang pasokan sumber tegangan dari 2 buah transformator tersebut melebihi dari standar NEMA atau Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) yaitu > 380 volt.

Tabel 2. Data Pengukuran Rerata Tegangan dari Panel TR 301

Tempat Pengukuran Tegangan Listrik 3 fasa	Waktu Pengukuran Tahun 2018											
	Mei			September			Oktober			Desember		
Tegangan kirim rata-rata (Volt)	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Panel ACB TR 301	387	392	388	389	392	387	384	389	385	388	391	388
Tegangan terima rata-rata (Volt)	Mei			September			Oktober			Desember		
EF-08	387	391	397	389	391	387	384	389	385	387	390	387
AL-02	387	390	387	389	392	386	384	387	385	388	390	387
Co-230	387	391	388	389	392	386	384	388	386	388	390	386

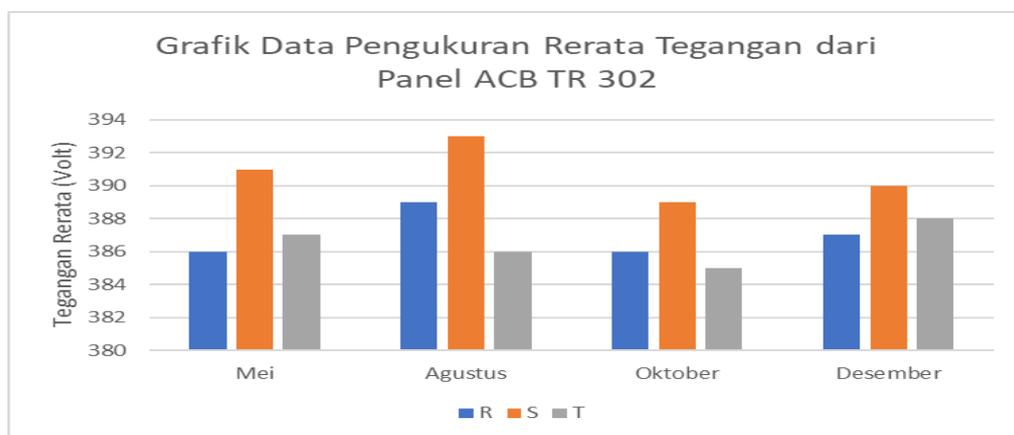
Tabel 3. Data Pengukuran Rerata Tegangan dari Panel TR 302

Tempat Pengukuran Tegangan Listrik 3 fasa	Waktu Pengukuran Tahun 2018											
	Mei			September			Oktober			Desember		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Tegangan kirim rata-rata (Volt)												
Panel ACB TR 302	388	392	388	389	394	387	387	390	386	389	392	390
Tegangan terima rata-rata (Volt)												
EF-09	387	392	387	389	394	387	387	389	386	389	391	389
AL-01	386	391	387	389	394	387	386	389	385	388	391	388
SF-01	386	389	386	389	393	387	386	389	386	388	391	388
SF-02	387	391	387	389	394	386	387	390	386	387	391	389
Co-232	387	392	388	390	394	386	386	389	385	388	391	388
Panel PCHN	386	391	387	390	393	387	386	390	386	388	391	388

Tabel 4. Lonjakan tegangan tidak setimbang

Tempat Pengukuran Tegangan Listrik 3 fasa	Waktu Pengukuran Tahun 2018									
	8 Agustus			14 Oktober			17 Oktober			Keterangan
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	
Tegangan kirim rata-rata (Volt)										
Panel ACB TR 301	410	415	413	412	417	418	418	421	417	Tegangan Listrik Normal 380 Volt
Panel ACB TR 302	411	418	414	414	420	421	416	423	419	

Peningkatan tegangan berdasarkan Tabel 1 sampai dengan Tabel 3 antara 386 volt sampai dengan 423 volt. Peningkatan tegangan tersebut jika dibiarkan dapat merusak terhadap peralatan listrik diantaranya motor listrik akan menjadi panas.



Grafik 1. Pengukuran Rerata Tegangan dari Panel TR 302

Pada Grafik 1. Pengukuran rerata tegangan, sumber tegangan yang disupply melalui TR. 302 sudah terlihat dan menunjukkan adanya peningkatan tegangan dan perbedaan fasa tiap fasanya. Perbedaan fasa tersebut jika kita melihat pada tabel 1 s.d. tabel 3 bisa diasumsikan adanya gangguan pada transformator, sehingga perlu dilakukan perawatan rutin dengan *treatment* oli dan pengukuran tahanan masing masing fasa. Dengan melakukan perawatan tersebut bisa diketahui tentang kondisi transformator

Perhitungan

Untuk mengetahui besarnya nilai perbedaan tegangan antara fasa maka dapat dilakukan perhitungan dari hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3 dengan cara sebagai berikut: Sebagai contoh pada data pengukuran tegangan motor *exhaust* AL.01 pada bulan Mei dapat dihitung:

$$\% \text{ Unbalance} = \frac{\text{selisih antara maksimum tegangan dan tegangan rata-rata}}{\text{Tegangan rata-rata}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan rata-rata AL.01} &= 386 \text{ V} + 391 \text{ V} + 387 \text{ V} \\ &= 388 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } \% \text{ Unbalance AL.01} &= 100\% \times (391 - 388) : 388 \\ &= \mathbf{0,8 \%} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Kenaikan Temperatur} = 2 \times (\%V_{\text{unbalance}})^2$$

Sehingga nilai temperatur pada motor saat mengalami peningkatan tegangan adalah :

$$\text{Kenaikan Temperatur} = T_{\text{normal}} \times (100\% + \% \text{ kenaikan temperatur})$$

$$\% \text{ Kenaikan Temperatur} = 2 \times (0,8)^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kenaikan Temperatur} &= 31 \text{ }^{\circ}\text{C} \times (100\% + 1,28 \%) \\ &= \mathbf{31,4^{\circ}\text{C}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan rata-rata ACB TR 302} &= 418 \text{ V} + 421 \text{ V} + 417 \text{ V} \\ &= 418,7 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } \% \text{ Unbalance ACB TR 302} &= 100\% \times (421 - 418,7) : 418,7 \\ &= \mathbf{0,5 \%} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka hasil perhitungan lainnya ditunjukkan pada tabel di bawah.

Tabel 5. Perhitungan temperatur persentase ketidak seimbangan tegangan

Nama Peralatan	Persentase Kenaikan Tegangan Listrik (%)	Persentase Peningkatan Temperatur (%)	Temperatur Normal (°C)	Temperatur Gangguan (°C)
Mei				
Tegangan Kirim				
ACB	0,8	1,28	31	39,7
Tegangan Terima				
EF-08/09	0,85	1,45	34	49,3
AL-01	0,79	1,25	33	41,8
SF-01	0,72	1,04	31	33,3
Co-232	0,75	1,13	38	42,9
Panel PCHN	0,91	1,66	38	62,9

Berdasarkan hasil perhitungan prosentase ketidak seimbangan antar fasa yang ditunjukkan pada Tabel 5 dapat diketahui penyebab berbedanya tegangan tersebut selain dari sumber transformator juga adanya beda tahanan gulungan motor anantara fasa. Kondisi *Unbalance* disebabkan antara lain oleh kondisi beban secara keseluruhan sistem, dimana beban satu fasa tidak sama dengan fasa yang lain, impedansi dari beban-beban tersebut tampak ditunjukkan adanya perbedaan tahanan belitan yang merupakan impedansi dari motor-motor listrik yang besar berbeda nilainya. tidak sama fasa satu sama lain.

Kondisi lain tegangan input dari PLN seringkali menunjukkan peningkatan yang cukup besar seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Perbedaan tegangan anantara fasa tersebut jika dibiarkan akan menyebabkan gulungan motor menjadi panas. Berdasarkan perhitungan pada AL 01 perbedaan antara fasa mencapai 0,8 % dapat meningkatkan temperatur pada motor AL01 mencapai 9° C. perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4 *unbalance* tegangan masih dibawah normal yaitu rerata < 1% sehingga peralatan dapat operasi normal.

NEMA memberikan rekomendasi : motor dapat dioperasikan secara normal pada kapasitas *rated* jika *unbalance* voltage tidak lebih dari 1%.

Tabel 6. Hubungan persen ketidak seimbangan tegangan terhadap arus listrik

Nama Alat	% ketidak seimbangan tegangan			Arus fasa pada motor listrik (Amper)		
	R	S	T	R	S	T
EF-09	387	392	387	135	128	146
AL-01	386	391	388	45	51	46
SF-01	386	389	386	262	294	276
SF-02	387	391	387	258	303	271

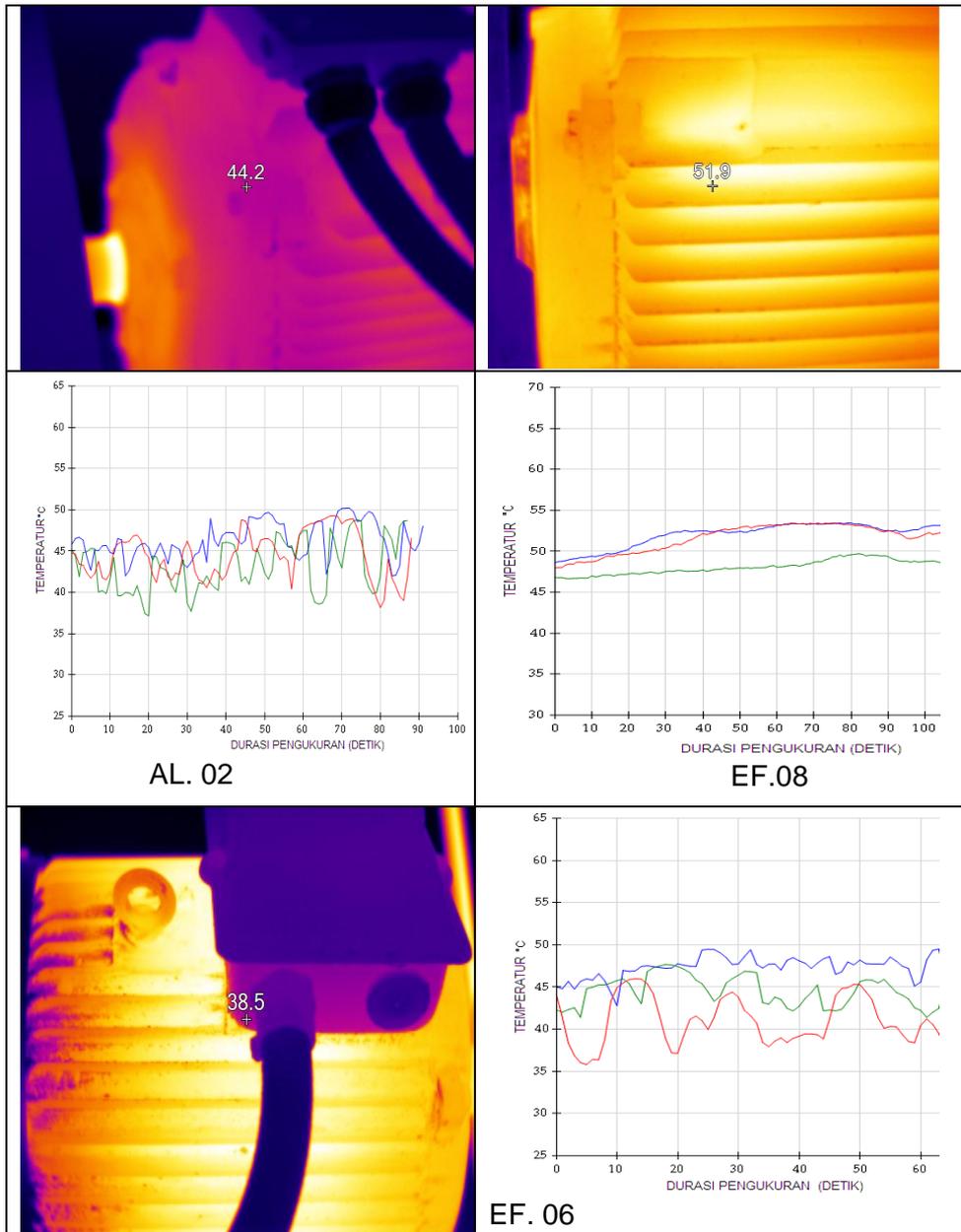
Tabel 7. Data Pengukuran Tahanan Belitan Motor Listrik FR

Nama Alat	Nilai Tahan Belitan (OHM)		
	R	S	T
EF-09	0,038	0,046	0,041
AL-01	0,033	0,048	0,038
SF-02	0,041	0,053	0,044
Co-231	0,049	0,047	0,037
CH03A	0,052	0,067	0,058

Selain dilakukan pengukuran dan perhitungan maka dilakukan pemeriksaan temperatur terhadap peralatan listrik diantaranya pada beberapa motor listrik. Pemeriksaan selain menggunakan *thermometer infrared* juga digunakan *thermograph infrared*. Hasil pemeriksaan temperatur tersebut ditunjukkan pada Tabel 8 dan gambar hasil Thermograf di bawah.

Tabel. 8 Pengukuran Temperatur Pada Peralatan Listrik FR

Nama Peralatan	Pengukuran Rata-rata Temperatur (°C)							
	Waktu Pemeriksaan Tahun 2018							
	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
Temperatur ruang	29	28	28	28	28	29	27	27
EF-08/09	48	51	46	49	48	47	43	43
AL-01/02	46	47	44	46	44	45	41	41
SF-01/02	48				48	47	43	43
Temperatur ruang	31	34	32	34	33	30	30	30
CO-230	48	51	46	49	48	47	43	43
Co-232	48	51	46	49	48			
Panel PCHN	48	51	46	49	48	47	43	43



KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi pada perbedaan tegangan listrik di fasilitas Radiometalurgi terjadi perbedaan tegangan antara fasa rerata dibawah 1% sehingga masih dalam batas yang diijinkan untuk dioprasikan dan peralatan dapat beroperasi normal

DAFTAR PUSTAKA

1. Kushadiyono.MT ,Drs, Dasar Teknik Elektro, STT Wiworotomo, Purwokerto, 2003

2. Sulasno, Ir., Analisis Sistem Tenaga Listrik, Badan Penerbit UNDIP, Semarang, 2001.
3. Sulasno, Ir., Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Badan Penerbit UNDIP, Semarang, 2001.
4. PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) 2000, BSN, Jakarta.