

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL

Transformator AV 08 pada MTS 2 (*Main Transfer Station 2*) memiliki kapasitas daya sebesar 80 MVA dan difungsikan sebagai trafo *stepdown* 150 kV menjadi 30 kV. Tegangan masukan AV 08 didapat dari keluaran transformator utama GTG pada *Combine Cycle Power Plant* (CCPP) PT KDL. Wujud transformator AV 08 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Wujud Transformator AV 08 MTS 2

Transformator AV 08 dijadikan objek penelitian dengan spesifikasi dasar yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator AV 08 MTS 2

Manufacture/Year	SIEMENS/2017
Rated Power	80 MVA
Rated Voltage	150 kV/30 kV
Vector Group	Ynd 5
Colling Methode	OFWF (<i>Oil Force Water Force</i>)

Spesifikasi Tabel 4.1 meTransformator AV 08 difungsikan khusus memenuhi kebutuhan beban fasilitas produksi PT Krakatau Steel pada distrik CRM (*Cold Rolling Mill*) dan HSM (*Hot Strip Mill*) seperti kebutuhan daya listrik motor induksi seperti mesin bubut sub *plant roughing mill* CRM, mesin bergulir sub *plant rolling mill* HSM dan *step down* transformator AW untuk kebutuhan kompensasi daya untuk transformator distribusi pada CRM dan HSM.

4.2. Analisis Faktor Historis

Berikut adalah analisis yang disajikan berupa analisis indeks kesehatan disetiap parameter pada faktor historis.

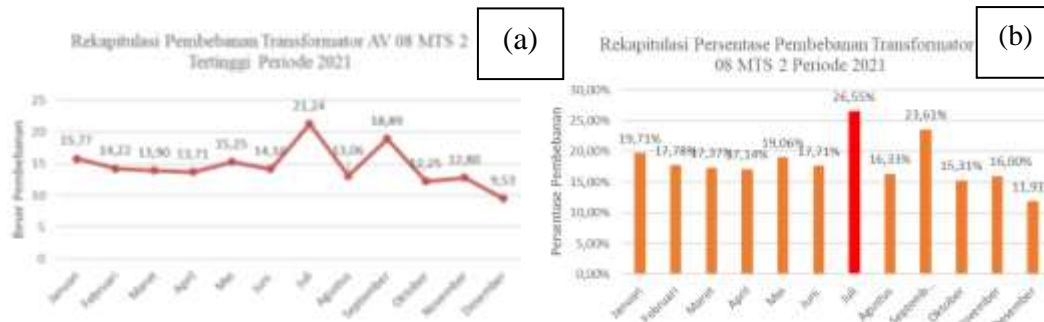
4.2.1. Analisis Pembebanan

Pada tahun 2021 Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL beroperasi memenuhi kebutuhan tenaga listrik tertinggi berupa wujud nilai tegangan, arus, dan faktor daya tertinggi setiap bulanya yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Beban Tertinggi Perbulan Periode Tahun 2021

NO	Bulan	kV	Amp	PF (°)	MW	% Load
1	Januari	31,15	610	19,71%	15,77	23,75
2	Februari	31,05	579	17,78%	14,22	21,36
3	Maret	30,79	531	17,37%	13,90	20,42
4	April	30,44	550	17,14%	13,71	20,93
5	Mei	31,11	612	19,06%	15,25	23,70
6	Juni	30,66	525	17,71%	14,16	20,11
7	Juli	32,52	710	26,55%	21,24	28,85
8	Agustus	29,66	517	16,33%	13,06	19,16
9	September	32,43	633	23,61%	18,89	26,87
10	Oktober	29,17	460	15,31%	12,25	16,76
11	November	29,38	506	16,00%	12,80	18,57
12	Desember	23,65	448	11,91%	9,53	13,23
Rata-rata		30,17	557	18 %	14,56	21,14

Tabel 4.2 menunjukkan variabel MW sebagai beban elektrik (MW) yang terhitung dengan mengkalkulasi arus, tegangan dan faktor daya yang tercatat berdasarkan Persamaan (2.2) dan %Load merupakan persentase antara daya kapasitas terhadap daya beban dengan Persamaan (2.3). Kedua perhitungan persamaan dapat dilihat pada Lampiran A-1.



Gambar 4.2 Data Pembebanan Transformator AV 08 MTS 2 Tahun 2021 (a) Rekapitulasi Pembebanan dan (b) Persentase Pembebanan

Gambar 4.2 menunjukkan sepanjang tahun 2021. Rata-rata pembebanan beserta persentasenya terhadap kapasitas trafo masing-masing tercatat sebesar 14,6 MW dan 26,55 persen. Pencatatan nilai pembebanan dan persentase pembebanan tertinggi berada pada bulan Juni sebesar 21,24 MW dan 26,55 persen. Penilaian HI terhadap parameter ini ditunjukkan dalam bentuk transkrip nilai pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Transkrip Nilai HI Analisis Pembebanan

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Pembebanan	3	Persentase pembebanan di setiap bulan kurang dari 30 persen	A	4	12

Tabel 4.3 berdasarkan kriteria HI persentase pembebanan yang diperoleh kurang dari 30 persen menghasilkan mutu huruf dan angka masing-masing adalah A dan empat dengan hasil nilai akhir parameter ini senilai 12 terhadap bobot sebesar tiga. Besar persentase pembebanan ini mengindikasikan AV 08 beroperasi secara aman dalam menjaga dan mengatur pola persentase pembebanan di bawah batas *overload* untuk kapasitas transformator daya 80 MVA.

4.2.2. Analisis Inspeksi Pemeliharaan

Berdasarkan catatan *Minor of inspection and record transformer* seksi TIS pelaksanaan pemeliharaan periodik aktif beroperasi mulai dari tahun 2020 dengan keterangan *timeline* ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pola dan *Timeline* Pemeliharaan Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL

No	Transformator	Tahun		
		2020	2021	2022
1	Transformator AV 08	19 Juni 2020	27 Mei 2021	5 Juli 2022

Pola dan timeline pemeliharaan pada Gambar 4.3 menunjukkan Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL termasuk dalam kriteria pemeliharaan yang dilakukan satu kali dalam kurun waktu 12 bulan. Penilaian HI terhadap parameter ini ditunjukkan dalam bentuk Tabel 4.5 mengenai transkrip nilai analisis inspeksi pemeliharaan.

Tabel 4.5 Hasil Transkripsi Nilai HI Analisis Inspeksi Pemeliharaan

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Inspeksi Pemeliharaan	4	Pemeliharaan dilakukan sekali di setiap tahun	A	4	16

Berdasarkan kriteria HI inspeksi pemeliharaan yang dilakukan satu kali dalam kurun waktu 12 bulan menghasilkan mutu huruf dan angka masing-masing adalah A dan empat dengan hasil nilai akhir parameter ini senilai 16 terhadap bobot sebesar empat. Intensitas pemeliharaan serutin ini dengan pelaksanaan kegiatan berupa *cleaning* dan *testing* area dan setiap komponen trafo sangatlah baik.

4.2.3. Analisis Gangguan Internal

Gangguan internal pada transformator AV 08 MTS 2 PT KDL tidak pernah mengalami gangguan sama sekali selama tahun 2022. Frekuensi gangguan internal selama tahun 2022 ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Frekuensi Gangguan Internal Tahun 2022

NO	Bulan	Jumlah Gangguan	NO	Bulan	Jumlah Gangguan
1	Januari	0	6	Juli	0
2	Februari	0	7	Agustus	0
3	Maret	0	8	September	0
4	April	0	9	Oktober	0
5	Mei	0	10	November	0
6	Juni	0	12	Desember	0

Data yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 didukung oleh tidak adanya *work order* (WO) dari *divisi enggining* terhadap seksi TIS selama periode tersebut untuk melakukan kegiatan pemeliharaan koreksi komponen pada trafo ini. Transkrip nilai parameter ini ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Transkrip Nilai Analisis Gangguan Internal

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Gangguan Internal	4	Tidak ditemukan gangguan internal	A	4	16

Tabel 4.7 menunjukkan hasil transkrip nilai parameter ini senilai 16 dengan nilai mutu huruf dan angka masing-masing sebesar “A” dan “4” terhadap bobot sebesar empat.

4.2.4. Analisis Kelas Aset

Parameter kelas aset ditinjau berdasarkan lokasi objek penelitian yaitu distrik industri MTS 2 PT KDL yang bertempat di wilayah otonomi industri Krakatau Stell. Berdasarkan kriteria kelas aset wilayah industri tergolong dalam kelas 1.

Tabel 4.8 Hasil Transkrip Nilai Analisis Kelas Aset

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Kelas Aset	2	Kelas Aset 1 (Wilayah Industri)	D	1	2

Tabel 4.8 menunjukkan hasil transkrip nilai parameter parameter ini senilai dua dengan nilai mutu huruf dan angka masing-masing sebesar D dan 1. Kelas aset 1 wilayah industri memiliki probabilitas yang tinggi akan anomali kegagalan trafo karena kebutuhan beban listrik yang tinggi. Mutu pelayanan pemeliharaan dan pemantauan perlu sebanding akan kebutuhan tersebut.

4.2.5. Analisis Umur

Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL tercatat oleh *manufacture* dibuat pada tahun 2017 dan berdasarkan keterangan divisi operasi dan jaringan PT KDL mulai beroperasi sejak Oktober tahun 2019. Terukur dari waktu pengerjaan penelitian ini waktu operasi transformator ini sudah berjalan menuju empat tahun.

Data umur trafo membentuk hasil transkrip nilai analisis umur yang ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Transkrip Nilai Analisis Umur

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Umur	4	Sudah beroperasi empat tahun	B	3	12

Hasil transkrip nilai pada Tabel 4.9 menunjukkan parameter umur trafo menghasilkan huruf dan angka mutu masing-masing B dan tiga. Membentuk hasil parameter ini bernilai 12 terhadap bobot sebesar empat. Umur empat tahun ini masih tergolong trafo produktif. Kemungkinan kegagalan karena laju degradasi penuaan jika ditinjau berdasarkan kronologi waktu sangat rendah.

4.2.6. Analisis Merek

Parameter merek terbagi menjadi dua kriteria, yaitu pabrikan asal eropa dan asia. Transformator AV 08 MTS 2 bermerk Siemens *Electric*. Berdasarkan lisensi dan desain oleh Siemens Energy GA yang berbasis di Negara German. Data merek yang diperoleh menghasilkan transkrip nilai parameter yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Transkrip Nilai Analisis Merk

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Merek	1	Asal Merk German (Eropa)	B	3	3

Tabel 4.8 menunjukkan pabrikan asal eropa menyebabkan perolehan mutu huruf B dengan mutu angka tiga. Bobot bernilai satu menghasilkan penilaian akhir bernilai tiga.

4.3. Faktor Kondisi

Berikut adalah analisis yang disajikan berupa pembahasan faktor kondisi:

4.3.1. Analisis Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL mengacu pada standar IEC 60422. Pengambilan sampel minyak dilakukan pada bagian

bottom komponen tangki transformator dengan spesifikasi detail pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.11.

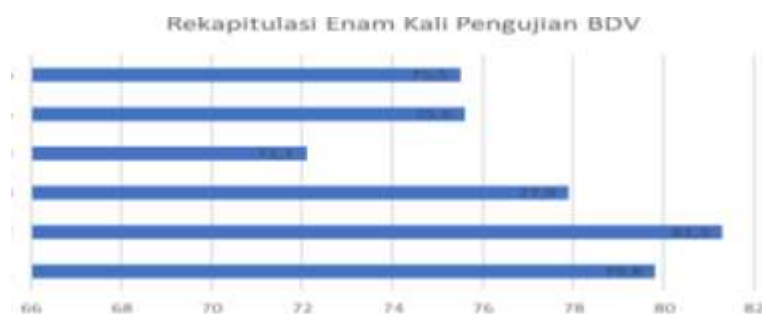
Tabel 4.11 Spesifikasi Pengujian Tegangan tembus Minyak

No	Data	Keterangan
1	Temperatur Minyak	29 °C
2	Frekuensi Pengujian	50 Hz
3	Gap Elektroda	2.5 mm
4	Elektroda	Mushroom
5	Jenis Minyak	<i>Nynas Nitro Lybra</i>
6	Timeline Pelaksanaan	18 Maret 2022

Tabel 4.11 mengarahkan pengukuran ini untuk meninjau ruang lingkup kekuatan dielektrik komponen minyak isolasi terhadap kapasitas injeksi tegangan yang dapat tertahan. Pengujian dilakukan sebanyak enam kali pengujian tegangan tembus dengan kriteria HI berdasarkan tegangan tembus rata-rata yang diperoleh pada Persamaan (2.5).

Tabel 4.12 Hasil Pengukuran Tegangan Tembus Minyak (BDV)

No	Pengujian	Hasil Pengujian (kV)	Hasil Rata-rata (kV)	IEC 60422
1	Pengujian 1	79,8	77,03 ¹	BDV > 50 kV
2	Pengujian 2	81,3		
3	Pengujian 3	77,9		
4	Pengujian 4	72,1	76,48 ²	
5	Pengujian 5	75,6		
6	Pengujian 6	75,5		



Gambar 4. 3 Grafik Rekapitulasi Pengujian Tegangan Tembus (BDV) Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL

Pada enam kali pengujian pada Tabel 4.12 menunjukkan hasil 79.8 kV di pengujian pertama, 81.3 kV di pengujian kedua, 77.9 kV di pengujian ketiga, 72.1

di pengujian keempat, 75,6 kV di pengujian kelima, dan 75,5 di pengujian keenam. Rata-rata BDV terukur sebesar 77,03 kV. Nilai rata-rata terukur membentuk kondisi transkrip penilaian parameter tegangan tembus pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Transkrip Nilai Analisis Tegangan Tembus (BDV)

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Tegangan Tembus	3	Rata-rata BDV Terukur Memenuhi Batas Minimum Standar	A	4	12

Tabel 4.13 menunjukkan hasil rata-rata yang diperoleh menggunakan Persamaan (2.5) dengan pembuktian perhitungan terlampir (LAMPIRAN A). Berdasarkan IEC 60422 Nilai rata-rata sebesar 77,03 kV tersebut termasuk dalam kriteria di atas nilai minimum yaitu 50 kV untuk nilai rating tegangan trafo 150 kV.

Data ini menghasilkan mutu huruf dan angka masing-masing adalah A dan empat dengan hasil nilai akhir parameter ini senilai 12 terhadap bobot sebesar tiga. Perananan parameter ini menunjukkan salah satu fungsi komponen minyak isolasi yaitu sebagai isolator (kekuatan dielektrik) berada pada kriteria sangat baik.

4.3.2. Analisis Kadar Air

Minyak yang digunakan pada Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL berjenis *Nynas Nitro Lybra*. Minyak jenis ini memiliki spesifikasi tersendiri. Pada beberapa aspek, seperti viskositas dan kadar air. Pengujian ini mengacu pada standar IEC 608214 dengan kriteria pemenuhan syarat jumlah kadar air terukur tidak melebihi 40 ppm. Kadar air yang terkandung dalam minyak transformator AV 08 ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Spesifikasi Hasil Pengujian Kadar Air

Aspek	Standard	Spesifikasi	Keterangan
Kadar Air	IEC 60814 (<40 ppm)	16 ppm	<i>Inside limit</i>

Sesuai yang tercantum pada Tabel 4.14 spesifikasi minyak transformator terukur sebesar 16 ppm. Nilai tersebut termasuk dalam kategori *inside limit* standar IEC 608214 tidak melebihi 40 ppm. Nilai kadar air tersebut menunjukkan transkrip penilaian parameter ini yang ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Transkrip Penilaian Analisis Kadar Air

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Kadar Air	3	Kurang dari 40 ppm	A	4	12

Tabel 4.15 menunjukkan hasil transkrip nilai parameter ini senilai 12 dengan nilai mutu huruf dan angka masing-masing adalah A dan empat. Peranan data parameter ini menunjukkan kualitas komponen minyak isolasi ditinjau dari jumlah kadar air yang dapat mempercepat laju degradasi berkelanjutan berupa pembusukan (korosi) pada komponen lain berupa belitan dan kertas masih sangat sehat.

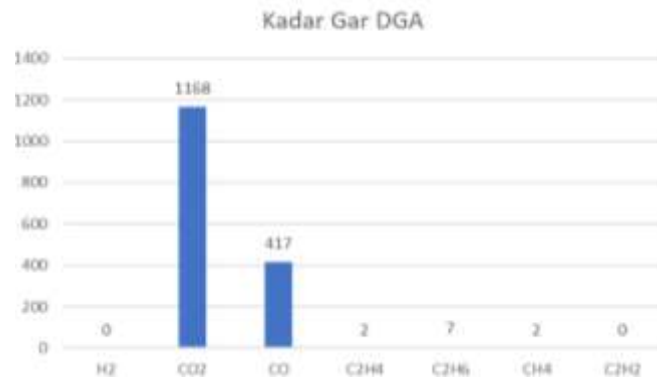
4.3.3. Dissolved Gas Annalysis (DGA)

Parameter *Dissolved gas annalysis* (DGA) mendeteksi beberapa jenis gas yang terkandung dalam minyak transformator yang dapat memicu terjadinya gangguan. Hydrogen (H₂), Carbon Dioxide (CO₂) Carbon Monoxide (CO) Ethylene (C₂H₄) Ethane (C₂H₆) Methane (CH₄) Acetylene (C₂H₂).

Pengambilan sampel minyak dilakukan pada bagian *bottom* tangki transformator dengan teknik dan acuan standar internasional IEEE C 57.104. 2013. Data kadar gas DGA, bobot setiap gas (pi), dan kondisi setiap gas berdasarkan data kadar gas (ni) ditunjukkan pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.16 Jumlah Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi

<i>Clasification Of Gasses</i>	<i>Gas Value</i>	Bobot (pi)	Kondisi (ni)
<i>Hydrogen (H₂)</i>	0 ppm	2	1
<i>Carbon Dioxide (CO₂)</i>	1168 ppm	1	1
<i>Carbon Monoxide (CO)</i>	417 ppm	1	1
<i>Ethylene (C₂H₄)</i>	2 ppm	3	1
<i>Ethane (C₂H₆)</i>	7 ppm	3	1
<i>Methane (CH₄)</i>	2 ppm	3	1
<i>Acetylene (C₂H₂)</i>	0 ppm	5	1



Gambar 4. 4 Kadar Gas DGA Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL

Data pada Tabel 4.16 diolah untuk menentukan FDGA menggunakan Persamaan (2.6). Hasil proses kalkulasi FDGA pada Lampiran (A-2) menunjukkan nilai FDGA sebesar 1,00. Nilai ini berdasarkan kriteria HI masuk dalam kategori sangat bagus.

Tabel 4. 17 Hasil Transkrip Nilai Pengukuran

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
DGA	3	FDGA < 1,2	A	3	9

Tabel 4.17 menunjukkan hasil transkrip nilai parameter ini senilai 12 terhadap bobot sebesar tiga dengan nilai mutu huruf dan angka masing-masing adalah “A” dan “4”. Peranan data parameter ini menunjukkan kualitas komponen minyak isolasi ditinjau dari jumlah kadar gas yang dapat mempercepat probabilitas laju degradasi akibat fenomena kegagalan dengan karakteristik *chemical* dan termal sangatlah rendah.

4.3.4. Analisis *Polarity Index*

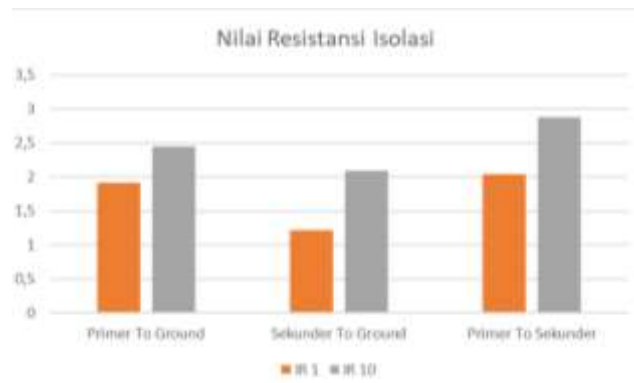
Hasil pengukuran PI dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran polarisasi resistansi insulasi menit ke 10 (IR_{10min}) terhadap resistansi insulasi menit ke-1 (IR_{1min}). Parameter ini memiliki uraian pengukuran berupa pengukuran antar belitan, primer terhadap *ground*, dan sekunder terhadap *ground*.

Pengukuran dilakukan menggunakan Fluke 1555 dengan tegangan injeksi dalam bentuk DC sebesar 10 kV disetiap uraian pengukuran. Setiap uraian

pengukuran menghasilkan PI yang berbeda-beda dan ditunjukkan pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.18 Hasil Pengujian PI

Uraian Pengukuran	IR 1min	IR 10min	PI
Primer to Ground	1,91 GOhm	2,45 GOhm	1,28
Sekunder to Ground	1,22 GOhm	2,09 GOhm	1,72
Primer to Sekunder	2,04 GOhm	2,88 GOhm	1,41



Gambar 4. 5 Grafik Rekapitulasi Resistansi Isolasi

Hasil nilai *polarity index* pada Tabel 4.18 didapatkan dengan memanfaatkan Persamaan (2.7) dengan pembuktian per2,45 hitungan setiap uraian pengukuran ditunjukkan pada Lampiran (A-2) dan (A-3). Mengacu standar IEEE C57.152 terhadap teknik dan kriteria hasil nilai PI yang ditunjukkan pada Tabel 4.18 di setiap uraian pengukuran menunjukkan nilai berada pada rentang 1,25 sampai dengan 2,0 membentuk transkrip penilaian HI ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Hasil Transkrip Penilaian Analisis PI

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
<i>Polarity Index</i>	2	Nilai ketiga uraian pengukuran berada diantara 1,25 s.d. 2,0	B	3	6

Tabel 4.19 menunjukkan hasil transkrip nilai parameter ini senilai 6 terhadap bobot sebesar dua dengan nilai mutu huruf dan angka masing-masing bernilai B dan tiga. Hasil ini menunjukkan polarisasi arus yang terjadi pada komponen *bushing* baik. Kualitas isolasi didalam *bushing* ketika terinjeksi tegangan sangat mudah terpolarisasi yang menyebabkan resistansi insulasi pada menit ke-10 sangatlah

tinggi jika dibandingkan menit ke-1. Besar nilai resistansi menit ke-10 inilah yang menjadi tolak ukur kesehatan transformator berbasis parameter *polarity index*.

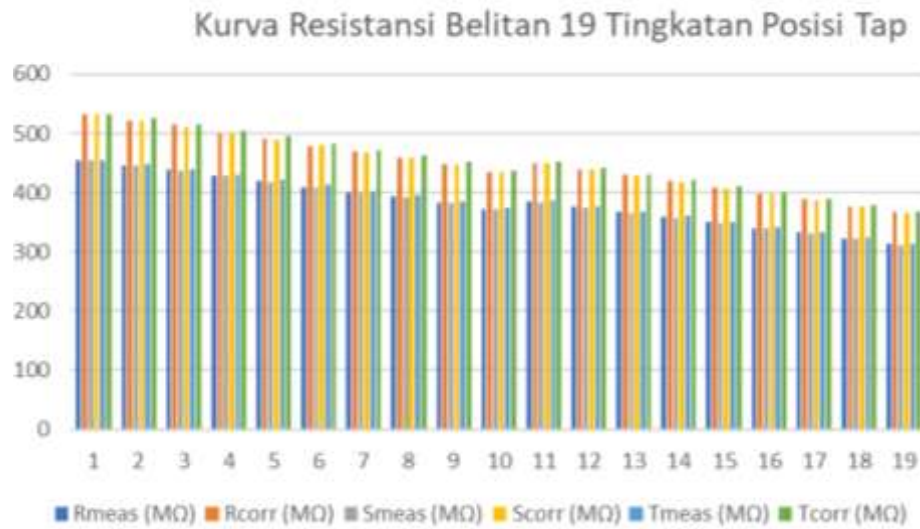
4.3.5. Analisis Resistansi Belitan

Pengukuran dilakukan dengan konfigurasi *auto switching of phases* dengan arus pengujian tiga ampere disetiap sisi tegangan belitan. Pengukuran ini memiliki variabel yang harus dicapai terdiri dari *Rmeas*, *Rcorr*, dan *Dev* dengan istilah masing-masing yaitu nilai resistansi yang didapat dari pengukuran alat, nilai resistansi literatur dan nilai deviasi terukur antara *Rmeas* dan *Rcorr*. Hasil setiap variabel pada parameter ini ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil Pengukuran Resistansi Belitan

Resistansi Pengukuran Belitan Sisi Primer									
Tap	Fasa R			Fasa S			Fasa T		
	<i>Rmeas</i> (M Ω)	<i>Rcorr</i> (M Ω)	<i>Dev</i> (%)	<i>Rmeas</i> (M Ω)	<i>Rcorr</i> (M Ω)	<i>Dev</i> (%)	<i>Rmeas</i> (M Ω)	<i>Rcorr</i> (M Ω)	<i>Dev</i> (%)
1	454,49	531,75	0,08	453,84	530,99	0,06	458,34	536,26	0,10
2	445,53	521,28	0,05	445,13	520,80	0,09	448,89	525,20	0,08
3	439,52	514,24	0,10	436,05	510,18	0,07	440,05	514,86	0,09
4	427,91	500,65	0,10	427,28	499,92	0,09	431,32	504,64	0,08
5	419,12	490,37	0,05	417,94	489,00	0,10	422,86	494,74	0,07
6	409,53	479,16	0,08	409,81	479,48	0,09	412,99	483,20	0,09
7	400,54	468,63	0,07	400,34	468,40	0,08	403,22	471,79	0,04
8	392,59	459,33	0,08	391,27	457,78	0,08	395,40	462,62	0,07
9	383,14	448,27	0,08	382,33	447,33	0,08	385,66	451,22	0,07
10	372,43	435,74	0,08	372,35	435,66	0,07	374,17	437,78	0,08
11	385,40	450,91	0,10	383,80	449,05	0,07	386,46	452,16	0,05
12	375,36	439,17	0,09	375,05	438,81	0,08	377,23	441,36	0,07
13	367,40	429,85	0,10	366,16	428,41	0,06	368,37	430,99	0,09
14	358,20	419,09	0,10	357,15	417,87	0,09	360,62	421,93	0,06
15	350,05	409,56	0,07	348,31	407,52	0,08	351,07	410,76	0,07
16	340,46	398,34	0,08	339,34	397,02	0,08	341,46	399,51	0,07
17	331,93	388,36	0,063	330,32	386,47	0,06	332,19	388,66	0,10
18	322,57	377,41	0,092	321,11	375,70	0,09	323,66	378,68	0,07
19	314,29	367,72	0,084	312,27	365,36	0,08	314,10	367,50	0,06
Resistansi Belitan Sisi Sekunder									
1	25,68	30,05	0,06	25,68	30,04	0,06	25,66	30,02	0,09
IEEE C57.152				Nilai deviasi di bawah lima persen baik					

Guna meningkatkan nilai guna dari data yang ditunjukkan pada Tabel 4.20 disajikan kurva setiap fasa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 6 Kurva Resistansi Belitan 19 Tingkatan Posisi Tap Transformator Daya 80 MVA

Tabel 4.20 merupakan hasil pengukuran resistansi belitan pada setiap fasa belitan sisi primer yang berjumlah 19 posisi tap dan satu posisi tap sisi sekunder. Data yang ditunjukkan menjamin teknik pengukuran dilakukan secara baik karena tidak terdapat nilai negative yang mengindikasikan keliruan pengukuran. Nilai Rcorr sebagai atribut perhitungan memanfaatkan Persamaan (2.6) yang otomatis terhitung ketika memasukan nilai tap pada setiap posisi pada alat ukur Omicron CPC 100. Nilai RMeas adalah aktualisasi data pengukuran yang didapat dari uraian pengukuran pada setiap posisi tap. Data yang ditunjukkan diatur berdasarkan standar IEEE C 57.152 dengan kriteria nilai deviasi yang baik adalah di bawah lima persen. Penentuan deviasi memanfaatkan Persamaan (2.10) dengan transparansi perhitungan terlampir pada Lampiran (A-3), (A-4), (A-5), (A-6), (A-7), dan (A-8) meliputi deviasi setiap fasa terhadap setiap posisi tap. Deviasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.20 disetiap fasa masuk dalam kategori standar yaitu kurang dari lima persen. Tabulasi parameter ini ditunjukkan pada Tabel 2.21.

Tabel 4.21 Hasil Transkrip Nilai HI Resistansi Belitan

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Resistansi Belitan	2	Nilai resistansi sisi HV dan LV memenuhi kriteria standar disetiap fasa dan posisi tap	A	4	8

Tabel 4.21 menunjukkan hasil transkrip nilai parameter ini senilai 8 dengan nilai mutu huruf dan angka masing-masing adalah A dan empat terhadap bobot bernilai dua. Transkrip nilai ini membuktikan kondisi komponen belitan transformator dalam ruang lingkup kualitas resistansi masih sangat baik karena terdapat kesesuaian yang tinggi antar nilai aktualisasi dan teori.

4.3.6. Analisis Tan δ

Pengukuran tan δ dilakukan menggunakan metode UST (*Ungrounded Speciment Test*) dan GST (*Grounded Speciment Test*) dengan penginjeksian tegangan AC sebesar 10 kV dan frekuensi 50 Hz. Penginjeksian dilakukan secara bergantian antara sisi primer dan sekunder terhadap komponen belitan dan bushing dengan Hasil pengukuran tan δ ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 4.22 Hasil Pengukuran Tan δ

Injeksi Primer				
No	Test		Tan δ (%)	
	Metode	Tipe	Bushing	Winding
1	GST	CH+CHL	0,3625	0,2791
2	GSTg	CH	0,2436	0,2436
3	UST	ICHL	0,2910	0,2910
Injeksi Sekunder				
1	GST	CH+CHL	0,3875	0,2984
2	GSTg	CH	0,3931	0,3027
3	UST	CHL	0,3778	0,2909

Hasil data pengukuran tan δ pada Tabel 4.22 menunjukkan nilai persentase Tan δ terukur berdasarkan arah injeksi disetiap komponen berada di kisaran 0,1 sampai dengan 0,5. Hasil ini mengindikasikan kondisi resiko kegagalan yang rendah untuk masukan data transkrip nilai parameter HI Tabel 2.23.

Tabel 4. 23 Hasil Analisis Transkrip HI Parameter Tan δ

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Tan δ	3	Nilai Tan δ disetiap variabel pengukuran berada di kisaran 0,1 s.d 0,5	B	3	9

Tabel 4.23 menunjukkan hasil transkrip nilai parameter ini senilai sembilan dengan nilai mutu huruf dan angka masing-masing adalah A dan empat. Hasil ini menunjukkan sifat kapasitansi pada bushing dan koneksi belitan masih baik karena

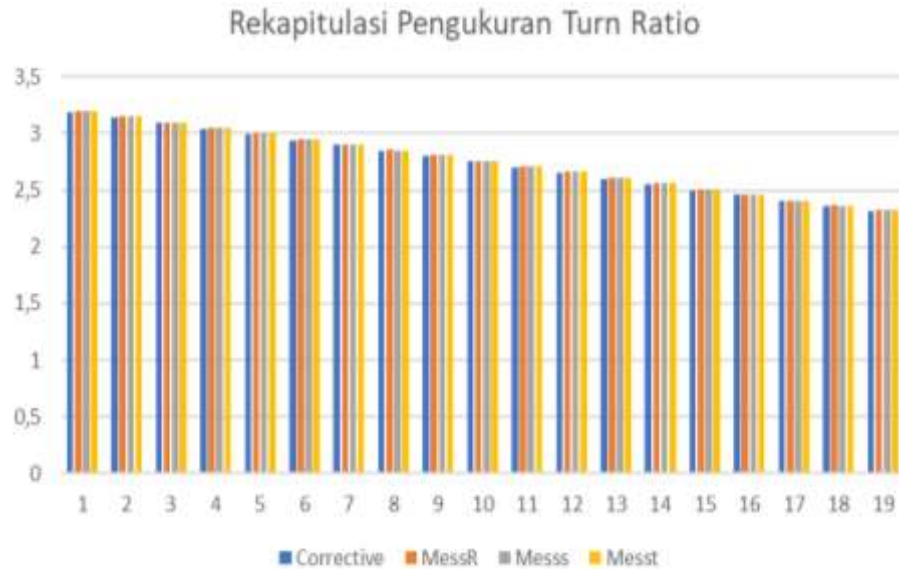
nilai $\tan \delta$ masih jauh dari nilai toleransi maksimum. Penilaian ini menunjukkan kandungan arus resistif dengan nama lain arus bocor bernilai sangatlah kecil.

4.3.7. Analisis *Turn Ratio* (TR)

Hasil pengukuran TR (*Turn Ratio*) memuat variabel Tap sebagai acuan pengukuran berdasarkan nomor *tap*, *Corr* yaitu nilai rasio terhitung secara teori berdasarkan persamaan 2.5, dan *Mess* yaitu nilai ratio terukur setiap fasa pada alat TTR 330. Nilai yang digunakan sebagai bahan analisis terdapat pada variabel Devisiasi. Hasil pengukuran TR ditunjukkan pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.6.

Tabel 4. 24 Hasil Pengukuran *Turn Ratio*

Tap	Corr	Mess _R	Devisiasi	Mess _s	Devisiasi	Mess _t	Devisiasi
1	3,19	3,20	0,25%	3,20	0,20%	3,20	0,20%
2	3,14	3,15	0,25%	3,15	0,20%	3,15	0,21%
3	3,09	3,10	0,27%	3,10	0,23%	3,10	0,23%
4	3,04	3,05	0,26%	3,05	0,21%	3,05	0,22%
5	2,99	3,00	0,27%	3,00	0,22%	3,00	0,23%
6	2,94	2,95	0,34%	2,95	0,31%	2,95	0,31%
7	2,90	2,90	0,28%	2,90	0,23%	2,90	0,25%
8	2,85	2,86	0,30%	2,85	0,24%	2,85	0,25%
9	2,80	2,81	0,29%	2,81	0,26%	2,81	0,26%
10	2,75	2,76	0,29%	2,76	0,24%	2,76	0,25%
11	2,70	2,71	0,30%	2,71	0,27%	2,71	0,28%
12	2,65	2,66	0,30%	2,66	0,25%	2,66	0,26%
13	2,60	2,61	0,29%	2,61	0,26%	2,61	0,26%
14	2,55	2,56	0,31%	2,56	0,26%	2,56	0,27%
15	2,50	2,51	0,30%	2,51	0,26%	2,51	0,26%
16	2,46	2,46	0,30%	2,46	0,26%	2,46	0,29%
17	2,41	2,41	0,32%	2,41	0,27%	2,41	0,28%
18	2,36	2,37	0,31%	2,36	0,27%	2,36	0,28%
19	2,31	2,32	0,47%	2,32	0,32%	2,32	0,36%



Gambar 4.7 Rekapitulasi Pengukuran Turn Ratio Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL

Tabel 4.24 menunjukkan seluruh nilai deviasi yang ditunjukkan berada didalam nilai aman standar IEC 60076-1 yaitu di bawah 0,5 persen dengan pembuktian perhitungan terlampir pada Lampiran (A-8), (A-9), (A-10), (A-11), (A-12), dan (A-13) memanfaatkan Persamaan (2.10). Kriteria ini mengindikasikan kondisi baik pada transkrip nilai parameter yang ditunjukkan pada Tabel 2.25.

Tabel 4. 25 Hasil Transkrip HI Parameter Turn Ratio

Parameter	Bobot	Data	Nilai Mutu (NM)		Hasil
			Huruf	Angka	
Turn Ratio	2	Hasil devisiasi setiap fasa di bawah 1,5 persen	A	4	8

Tabel 4.25 menunjukkan hasil transkrip nilai parameter ini senilai delapan dengan nilai mutu huruf dan angka masing-masing adalah A dan empat. Hasil ini menunjukkan kondisi belitan antara sisi dalam kondisi baik. Anomali seperti hubung singkat antar sisi belitan memiliki peluang sangat kecil karena kualitas tap changer masih dalam kondisi baik.

4.4. Perhitungan HI Untuk Prediksi Umur Transformator AV 08

Perhitungan HI untuk prediksi Umur Transformator AV 08 memanfaatkan tabulasi akhir dari faktor historis maupun kondisi sebagai acuan nilai masing-masing faktor indek kesehatan.

4.4.1. Nilai Akhir Faktor Historis

Hasil penilaian akhir berdasarkan analisis disetiap parameter faktor historis menghasilkan wujud transkrip nilai yang ditunjukkan pada Tabel 2.26.

Tabel 4. 26 Transkrip Nilai Akhir *Health Index* (Faktor Historis)

No	Parameter Historis	Bobot	Huruf Mutu	Nilai Akhir
1	Umur	4	B	12
2	Pembebanan	3	A	12
3	Inspeksi dan pemeliharaan	4	A	16
4	Gangguan Internal	4	A	16
5	Kelas Aset	2	D	2
6	Merk	1	B	3
Nilai Total		18		61

Hasil transkrip nilai akhir yang ditunjukkan pada Tabel 2.26 menghasilkan nilai total bobot sebesar 18 sebagai nilai variabel (*Bobottotal*) dan nilai akhir total faktor historis sebesar 61 sebagai nilai variabel (*NAtotal*). Memanfaatkan Persamaan 2.11 yang terlampir pada LAMPIRAN (A-13) nilai akhir faktor historis Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL diperoleh sebesar 3.38.

4.4.2. Nilai Akhir Faktor Kondisi

Hasil penilaian akhir berdasarkan analisis disetiap parameter faktor kondisi menghasilkan wujud transkrip nilai yang ditunjukkan pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Transkrip Nilai Akhir *Health Index* (Faktor Kondisi)

No	Parameter Kondisi	Bobot	Huruf Mutu	Skor
1	Tegangan Tembus	3	A	12
2	<i>Water Content</i>	3	A	12
3	<i>Index Polarity</i>	2	B	6
4	Resistansi Belitan	2	A	8
5	<i>Turn Ratio</i>	2	A	8
6	Tan Delta	3	B	9
7	Analisa Gas Terlarut	3	A	12
Nilai Total		18		67

Hasil transkrip nilai akhir yang ditunjukkan pada Tabel 2.27 menghasilkan nilai total bobot sebesar 18 sebagai nilai variabel (*Bobottotal*) dan nilai akhir total faktor kondisi sebesar 67 sebagai nilai variabel (*NAtotal*). Memanfaatkan Persamaan 2.11 yang terlampir pada LAMPIRAN (A-13) nilai akhir faktor historis Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL diperoleh sebesar 3.72.

4.4.3. Perhitungan Nilai Health Index dan Prediksi Sisa Umur

Memfaatkan Persamaan (2.2), nilai *health index* Transformator AV 08 MTS 2 PT KDL adalah 3,58 (Lampiran A-14). Hasil ini merupakan acuan dalam mengindikasikan transformator dalam kondisi sehat. Mengacu pada kriteria sisa umur metode *health index* hasil index yang diperoleh memprediksi sisa umur transformator memiliki harapan hidup lebih dari 15 tahun kedepan. Kondisi ini tergolong sangatlah baik dengan faktor utama historikal pembebanan dalam suatu periode waktu tidak lebih dari 30 persen menyebabkan parameter-parameter prediksi komponen yang diujikan pada faktor kondisi bernilai sangatlah bagus. Selain itu penilaian HI yang diperoleh didukung oleh faktor historis lainnya seperti pemeliharaan yang dilakukan secara intens di setiap tahunnya. Aktualisasi yang didapatkan ditunjukkan oleh tidak didapati temuan abnormal sepanjang tahun 2022 pada Transformator AV 08 PT KDL.