

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan dan Batasan Masalah.....	5
1.3 Keaslian dan Kebaharuan Penelitian.....	6
1.4 Tujuan Penelitian .....	10
1.5 Manfaat Penelitian .....	10
II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	14
2.1 Tinjauan Pustaka .....	14
2.2 Landasan Teori.....	17
2.2.1 Karakteristik Minyak Transformator .....	17
2.2.2 Rugi Daya Dielektrik .....	20
2.2.3 Konduktivitas Listrik .....	22
2.2.4 Kegagalan Listrik Dielektrik Cair.....	24
2.2.4.1 Kegagalan Elektronik .....	24
2.2.4.2 Kegagalan Gelembung Gas .....	25
2.2.4.3 Kegagalan Bola Cair dan Material Padat Tersuspensi.....	26
2.2.5 Viskositas.....	27
2.2.6 Rekondisi Minyak Transformator dan Pengujian Properti Dielektrik...28	28
2.2.7 Pemanasan Pada Sistem Rekondisi .....	29
2.2.8 Penyerapan Daya Gelombang Mikro.....	31
III METODE PENELITIAN.....	36
3.1 Persiapan Sampel .....	36
3.1.1 Alat dan Bahan.....	37
3.1.2 Sistem Tumpukan ( <i>Batch</i> ) .....	38
3.1.3 Sistem Aliran Kontinu .....	41
3.2 Uji Kekuatan Dielektrik .....	44
3.3 Uji Kandungan Air.....	45
3.4 Uji Konduktivitas Listrik .....	47
3.5 Uji Rugi Daya Dielektrik .....	48
3.6 Uji Viskositas .....	49

IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1	Hasil Uji Minyak Transformator Bekas Sebelum Proses Rekondisi .....	51
4.2	Hasil Uji dan Analisis Unjuk Kerja Dielektrik Minyak Transformator Bekas Setelah Proses Rekondisi Sistem Tumpukan (Batch) .....	55
4.2.1	Hasil Uji Sampel dengan Pemanasan Gelombang Mikro Menggunakan Sistem Tumpukan ( <i>Batch</i> ) .....	55
4.2.2	Hasil Uji dengan Pemanas Resistif Menggunakan Sistem Tumpukan ( <i>Batch</i> ) .....	71
4.2.3	Perbandingan Sifat Dielektrik Minyak Transformator Bekas Setelah Pemanasan Menggunakan Pemanas Gelombang Mikro dan Pemanas Resistif .....	82
4.2.3.1	Pengaruh Pemanasan Terhadap Kekuatan Dielektrik.....	85
4.2.3.2	Pengaruh Pemanasan Terhadap Jumlah Kandungan Air .....	87
4.2.3.3	Analisis Hubungan Tegangan Tembus Listrik Dengan Jumlah Kandungan Air .....	90
4.2.3.4	Pengaruh Pemanasan Terhadap Konduktivitas.....	93
4.2.3.5	Pengaruh Pemanasan Terhadap Rugi Daya Dielektrik .....	95
4.2.3.6	Pengaruh Pemanasan Terhadap Viskositas.....	97
4.3	Hasil Uji dan Analisis Unjuk kerja Dielektrik Minyak Transformator Bekas Setelah Proses Rekondisi Sistem Aliran Kontinu (Flow Continue) .....	98
4.3.1	Hasil Uji dan Analisis Minyak Transformator Bekas Setelah Pemanasan Dengan Gelombang Mikro Sistem Aliran Kontinu Variasi Daya Gelombang Mikro .....	99
4.3.2	Hasil Uji dan Analisis Minyak Transformator Bekas Setelah Pemanasan Dengan Gelombang Mikro Sistem Aliran Kontinu Variasi Debit Aliran Sirkulasi Minyak .....	107
4.3.3	Simulasi Kondisi Dielektrik Minyak Transformator Bekas Setelah Proses Rekondisi Dengan Gelombang Mikro Aliran Kontinu .....	118
V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	123
5.1	KESIMPULAN .....	123
5.2	SARAN .....	124
	DAFTAR PUSTAKA .....	125
	LAMPIRAN .....	129

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Perbandingan antara pemanas gelombang mikro dan pemanas konvensional[13].	4
Tabel 1.2	Rangkuman penelitian terdahulu yang menunjang penelitian.	11
Tabel 2.1	Spesifikasi minyak isolasi pakai sebagai rekomendasi untuk transformator berkapasitas > 1 MVA atau bertegangan >36kV[34]	20
Tabel 4.1	Hasil pengujian kimia fisik minyak transformator bekas sebelum proses rekondisi	52
Tabel 4.2	Hasil pengujian tegangan tembus listrik ( <i>breakdown voltage</i> ) minyak transformator bekas sebelum proses rekondisi.	53
Tabel 4.3	Perubahan suhu minyak transformator bekas setelah proses rekondisi dengan pemanas gelombang mikro	56
Tabel 4.4	Hasil uji sifat dielektrik sampel-sampel setelah pemanasan dengan pemanas gelombang mikro sistem tumpukan.	59
Tabel 4.5	Konduktivitas minyak transformator bekas setelah rekondisi dengan pemanas gelombang mikro	63
Tabel 4.6	Perubahan suhu minyak transformator bekas setelah proses rekondisi dengan pemanas resistif.	72
Tabel 4.7	Hasil uji sifat dielektrik sampel-sampel setelah pemanasan dengan pemanas resistif sistem tumpukan	73
Tabel 4.8	Konduktivitas minyak transformator bekas setelah rekondisi dengan pemanas resistif.	77
Tabel 4.9	Hubungan jumlah kandungan air dalam minyak transformator bekas dengan tegangan tembus listrik diproses rekondisi menggunakan pemanas gelombang mikro	91
Tabel 4.10	Hubungan jumlah kandungan air dalam minyak transformator bekas dengan tegangan tembus listrik diproses rekondisi menggunakan pemanas resistif.	92
Tabel 4.11	Hasil pengujian minyak transformator bekas dengan variasi daya gelombang mikro	101
Tabel 4.12	Hasil pengujian minyak transformator dengan variasi debit aliran	109

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Diagram hubungan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan .....	13
Gambar 2.1	Mekanisme konduksi pada dielektrik cair [35] .....	23
Gambar 2.2	Kegagalan elektronik pada zat cair[38] .....	25
Gambar 2.3	Mekanisme kegagalan gelembung gas [39] .....	26
Gambar 2.4	Potret proses tembus listrik karena adanya kontaminan.....	27
Gambar 3.1	Diagram alir langkah penelitian rekondisi minyak transformator bekas dengan metode tumpukan.....	39
Gambar 3.2	Skematik eksperimen pemanasan dengan pemanas resistif .....	40
Gambar 3.3	Skematik eksperimen pemanasan dengan pemanas gelombang mikro.....	40
Gambar 3.4	Diagram alir tahapan rekondisi minyak transformator bekas sistem aliran kontinu.....	42
Gambar 3.5	Skematik proses rekondisi dengan sistem aliran kontinu.....	43
Gambar 3.6	Rangkaian pengujian tegangan <i>tembus</i> .....	45
Gambar 3.7	Alat <i>aquamax KF coulometric</i> [52].....	47
Gambar 3.8	Rangkaian pengukuran konduktivitas [36].....	48
Gambar 3.9	Alat viskometer kinematik[53].....	49
Gambar 4.1	Warna sampel minyak transformator bekas sebelum dilakukan rekondisi .....	51
Gambar 4.2	Tampak depan dan tampak atas termoscan perubahan distribusi suhu proses rekondisi sistem tumpukan minyak transformator bekas .....	58
Gambar 4.3	Pengaruh proses rekondisi sistem tumpukan dengan pemanas gelombang mikro terhadap tegangan tembus listrik minyak transformator bekas .....	60
Gambar 4.4	Potret minyak transformator bekas hasil proses rekondisi sesaat sebelum terjadinya tembus listrik.....	61
Gambar 4.5	Pengaruh rekondisi sistem tumpukan dengan pemanas gelombang mikro terhadap jumlah kandungan air minyak transformator bekas .....	62
Gambar 4.6	Nilai konduktivitas sampel setelah pemanasan. (a) konduktivitas elektroda positif (b) konduktivitas elektroda positif .....	64
Gambar 4.7	Pengaruh energi panas dari pemanas gelombang mikro dengan sistem rekondisi tumpukan terhadap rugi daya dielektrik .....	66
Gambar 4.8	Pengaruh pemanasan dengan pemanas gelombang mikro terhadap viskositas minyak transformator bekas .....	67
Gambar 4.9	Ilustrasi mekanisme absorpsi gelombang mikro di dalam air .....	68
Gambar 4.10	Peristiwa terjadinya pemanasan dielektrik pada minyak transformator yang terkontaminasi air.....	69
Gambar 4.11	Distribusi suhu pemanasan dielektrik minyak yang terkontaminasi air .....	71
Gambar 4.12	Potret distribusi suhu karena panas dari pemanas resistif .....	73

Gambar 4.13 Pengaruh panas dari pemanas resistif terhadap tegangan tembus listrik minyak transformator bekas .....	75
Gambar 4.14 Pengaruh energi panas pemanas resistif terhadap jumlah kandungan air minyak transformator bekas .....	76
Gambar 4.15 Ilustrasi penguapan air dari dalam minyak dengan pemanasan dari pemanas resistif. ....	77
Gambar 4.16 Nilai konduktivitas sampel setelah pemanasan. (a) konduktivitas elektroda positif (b) konduktivitas elektroda positif .....	79
Gambar 4.17 Pengaruh pemanasan pemanas resistif terhadap rugi daya dielektrik	80
Gambar 4.18 Pengaruh pemanasan resistif terhadap viskositas.....	81
Gambar 4.19 Distribusi suhu sampel saat pemanasan .....	83
Gambar 4.20 Energi input yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sampel pada proses rekondisi minyak transformator bekas. ....	84
Gambar 4.21 Pengaruh proses rekondisi sistem tumpukan terhadap kekuatan dielektrik minyak transformator bekas .....	86
Gambar 4.22 Pengaruh rekondisi sistem tumpukan terhadap jumlah kandungan air minyak transformator bekas .....	88
Gambar 4.23 Efisiensi termal pemanas resistif dan pemanas gelombang mikro dalam menghilangkan kandungan air dari dalam minyak transformator .....	89
Gambar 4.24 Distribusi suhu minyak transformator bekas yang mengandung air tersuspensi setelah dipanaskan dengan pemanas gelombang mikro	90
Gambar 4.25 Grafik hubungan kandungan air dengan tegangan tembus setelah proses rekondisi minyak transformator bekas .....	92
Gambar 4.26 Nilai konduktivitas sampel setelah pemanasan. (a) konduktivitas elektroda negatif (b) konduktivitas elektroda positif.....	94
Gambar 4.27 Pengaruh pemanasan terhadap rugi daya dielektrik .....	96
Gambar 4.28 Pengaruh pemanasan terhadap viskositas .....	97
Gambar 4.29 Hubungan antara daya gelombang mikro dengan konsumsi energi spesifik pada sistem rekondisi aliran kontinu.....	101
Gambar 4.30 Tegangan tembus listrik minyak transformator bekas setelah rekondisi aliran kontinu dengan variasi daya gelombang mikro ....	102
Gambar 4.31 Kandungan air didalam minyak transformator bekas setelah rekondisi aliran kontinu dengan variasi daya gelombang mikro ....	103
Gambar 4.32 Rugi daya dielektrik minyak transformator bekas setelah rekondisi aliran kontinu dengan variasi daya gelombang mikro ....	105
Gambar 4.33 Viskositas minyak transformator bekas setelah proses rekondisi gelombang mikro aliran kontinu dengan variasi daya.....	106
Gambar 4.34 Hubungan antara debit aliran dengan konsumsi energi spesifik pada sistem rekondisi aliran kontinu .....	109
Gambar 4.35 Hasil pengujian tegangan tembus listrik dengan variasi debit minyak. ....	110
Gambar 4.36 Variasi konsumsi energi spesifik penggunaan pemanas gelombang mikro terhadap tegangan tembus listrik minyak transformator bekas .....	111

Gambar 4.37	Hasil pengujian kandungan air dengan variasi debit minyak.....	112
Gambar 4.38	Variasi konsumsi energi spesifik penggunaan pemanas gelombang mikro terhadap kandungan air di dalam minyak transformator bekas .....	113
Gambar 4.39	Hasil pengujian rugi daya dielektrik dengan variasi debit minyak.	114
Gambar 4.40	Variasi konsumsi energi spesifik penggunaan pemanas gelombang mikro terhadap rugi daya dielektrik minyak transformator bekas .....	115
Gambar 4.41	Hasil pengujian viskositas dengan variasi debit minyak.....	116
Gambar 4.42	Variasi konsumsi energi spesifik penggunaan pemanas gelombang mikro terhadap viskositas minyak transformator bekas	116
Gambar 4.43	Ilustrasi FEM plot vektor medan listrik minyak transformator tanpa kontaminan.....	119
Gambar 4.44	Ilustrasi FEM plot vektor medan listrik minyak transformator dengan partikel pengotor yang berbeda diameter.....	120
Gambar 4.45	Ilustrasi FEM plot vektor medan listrik minyak transformator bekas setelah proses rekondisi aliran kontinu gelombang mikro dengan variasi daya dan waktu dielektrik .....	122