

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSYARATAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1.1 Karakteristik isolator listrik cair	1
1.1.2 Potensi minyak nabati sebagai isolator listrik cair	2
1.1.3 Karakteristik CPO sebagai isolator	3
1.1.4 Tantangan teknologi mengembangkan CPO sebagai isolator	7
1.2 Rumusan Masalah	13
1.3 Tujuan Penelitian dan Manfaat Penelitian	15
1.4 Batasan Penelitian	19
1.5 Kebaruan Penelitian	20
1.5.1 Analisis Kebaruan	20
1.5.2 Kompilasi kebaruan	23
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	25
2.1 Karakteristik Isolator Listrik Cair	25
2.1.1 Tegangan tembus dalam isolator cair	25
2.1.2 Kadar air	31
2.1.3 Viskositas	32
2.1.4 Kadar keasaman	34
2.1.5 Standar isolator cair	35
2.2 Potensi CPO Sebagai Isolator.....	37
2.2.1 Perkembangan minyak nabati.....	37
2.2.2 Karakteristik minyak sawit	40
2.2.3 Karakteristik kelistrikan CPO	42
2.2.4 Diagram kausalitas	45
2.3 Teknologi Distilasi Vakum Adsorpsi	47
2.3.1 Konsep Distilasi	47
2.3.2 Pemurnian (<i>Refining</i>)	51
2.3.3 Pemucatan (<i>Bleaching</i>)	52
2.3.4 Deodorisasi	52
2.3.5 Teknologi Filter	54
2.3.6 Metode perlakuan minyak sawit sebagai isolator	57
2.3.7 Pengaruh tekanan vakum dan suhu	63
2.4 Isolator berbahan CPO sebagai pendingin	76
2.4.1 Transformator	76

2.4.2	Perpindahan panas pada trafo	86
2.4.3	Pendingin dengan konveksi paksa	100
2.5	Kelayakan teknologi melalui analisis keekonomian	106
2.5.1	Perbandingan ekonomi minyak nabati vs minyak mineral	106
2.5.2	Biosistem minyak nabati sebagai isolator	109
BAB III. LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS		114
3.1	Karakteristik Minyak Kelapa Sawit	114
3.1.1	Fraksinasi minyak kelapa Sawit	114
3.1.2	Karakteristik kimia dan fisika minyak kelapa sawit	116
3.2	Pengaruh Teknologi Distilasi Vakum Adsorpsi	118
3.3	Isolator berbahan CPO sebagai pendingin	121
3.3.1	Sistem pendingin transformator	122
3.3.2	Dimensionless analysis dalam konveksi paksa	124
3.4	Kelayakan teknologi melalui analisis ekonomi	130
3.4.1	Analisis Investasi	131
3.4.2	Analisis Sensitivitas	136
3.5	Hipotesis	137
BAB IV. METODE PENELITIAN		140
4.1	Tahapan Penelitian	140
4.1.1	Penelitian Tahap 1	140
4.1.2	Penelitian Tahap 2	144
4.1.3	Penelitian Tahap 3	156
4.1.4	Penelitian Tahap 4.	161
4.2	Peralatan dan Bahan Penelitian	163
4.3	Acuan Analisis Ekonomi Produksi Isolator Berbahan CPO	167
BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		169
5.1	Kinerja CPO sebagai Isolator	169
5.1.1	Distilasi tanpa <i>degumming</i>	169
5.1.2	Distilasi Vakum Adsorpsi	178
5.2	Kinerja CPO sebagai Pendingin	210
5.2.1	Karakteristik panas	210
5.2.2	<i>Dimensionless analysis</i> untuk <i>forced convection</i>	217
5.2.3	Analisis Statistik	226
5.3	Reaktor untuk produksi CPO menjadi Isolator	240
5.4	Analisis Keekonomian Isolator dari CPO	245
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN		254
6.1	Kesimpulan	254
6.2	Saran	255
DAFTAR PUSTAKA		260

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1: Perbandingan parameter minyak bumi, CPO, RBDPO dan minyak goreng.....	4
Tabel 1.2: <i>Research gap</i> perlakuan minyak nabati sebagai isolator	6
Tabel 1.3: <i>Gap research</i> isolator dari minyak nabati sebagai pendingin.....	10
Tabel 1.4: Matriks analisis kebaruan	20
Tabel 1.5: Analisis kebaruan isolator sebagai pendingin.....	22
Tabel 2.1: Standar Isolasi Trafo IEC 60296 (Martinez-Vega, 2010)	36
Tabel 2.2: Minyak nabati sebagai isolator (Mohammed et al., 2015).....	39
Tabel 2.3: Perubahan Karakteristik dari CPO ke RBDPO (SN/ 01-.....	54
Tabel 2.4: Propertis untuk bahan – bahan di trafo (Mendes, n.d.).....	87
Tabel 2.5: Properti minyak kelapa sawit (Tan & Nehdi, 2012)	87
Tabel 2.6: Perbandingan keekonomian minyak nabati vs minyak bumi.....	107
Tabel 3. 1 Komposisi asam lemak CPO (Muhtadi, 2016).	116
Tabel 3. 2 Komposisi rantai karbon CPO (Muhtadi, 2016).	117
Tabel 3. 3: Sifat fisika dan kimia CPO dan RBDPO	118
Tabel 3. 4: Parameter dimensi sistem konveksi paksa pendinginan	125
Tabel 3. 5: Sintesis tinjauan pustaka dan landasan teori terhadap hipotesis	137
Tabel 4. 1: Kombinasi titik pengukuran.....	149
Tabel 4. 2: Analisis perbedaan proses RBDPO dan disertasi	150
Tabel 4. 3: Peralatan utama penelitian	163
Tabel 4. 4: Bahan penelitian	166
Tabel 5. 1: Tegangan tembus isolator berbahan CPO variasi suhu dan tekanan	170
Tabel 5. 2:Tegangan tembus isolator berbahan CPO pada variasi suhu	171
Tabel 5. 3: Kadar air isolator berbahan CPO setelah pemanasan	172
Tabel 5. 4: Kadar air isolator berbahan CPO rata-rata terhadap variasi tekanan vakum	174
Tabel 5. 5: Kadar air rata-rata isolator berbahan CPO pada variasi suhu	174
Tabel 5. 6: Viskositas isolator setelah pemanasan	175
Tabel 5. 7: Viskositas isolator pada variasi tekanan vakum	176
Tabel 5. 8: Viskositas isolator pada variasi suhu	177
Tabel 5. 9:Regresi faktorial umum untuk kadar air	182
Tabel 5. 10: Regresi faktorial umum untuk tegangan tembus	189
Tabel 5. 11: Regresi faktorial umum untuk viskositas kinematik.....	197
Tabel 5. 12: Regresi faktorial umum untuk keasaman.....	203
Tabel 5. 13: Parameter dan standar isolator berbasis minyak nabati	210
Tabel 5. 14: Perkiraan nilai kalor spesifik minyak mineral, CPO, dan air.....	213
Tabel 5. 15: Konduktivitas panas komparatif Air, Minyak Mineral dan	215
Tabel 5. 16: Regresi linier pengaruh air velocity dan mass flow rate CPO	220
Tabel 5. 17: Hasil observasi	222
Tabel 5. 18: Data penggunaan energi listrik	244
Tabel 5. 19: Analisis biaya dan harga jual isolator	246

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Variasi rasio diameter spheroid (Lucas, 2001)	28
Gambar 2.2: Viskositas dan disipasi panas (Cosemans, 2011)	34
Gambar 2.3: Diagram kausalitas.....	46
Gambar 2.4: Rangkaian distilasi diferensial skala laboratorium (Budiman, 2016)	49
Gambar 2.5: Distilasi vakum (Nam et al., 2016)	50
Gambar 2.6: Proses Pembuatan RBDPO (Doing, 2018).....	53
Gambar 2.7: Kinerja jenis filter (Sutherland, 2008)	55
Gambar 2.8: Aliran daya di filtrasi (Voutchkov, 2015)	57
Gambar 2.9: Konstruksi transformator (White, 2018).....	79
Gambar 2.8: Transformator tipe ONAN (Electrical4U, 2024)	81
Gambar 2.9: Transformator tipe ONAF (Electrical4U, 2024)	82
Gambar 2.10: Transformator jenis OFAF (Electrical4U, 2024)	83
Gambar 2.11: Sistem pendingin transformator (Giampieri et al., 2019).....	83
Gambar 2.12: Sistem pendingin trafo OFAF (Electrical4U, 2024)	85
Gambar 2.13: Transformator jenis OFWF (ElectricalLive, 2015).....	86
Gambar 2.14: Jalur panas dari sumber ke udara bebas	88
Gambar 3. 1: Neraca massa fraksinasi CPO (modifikasi (Lai et al., 2015)).....	115
Gambar 4. 1: Tahapan Penelitian	140
Gambar 4. 2: Instalasi pemanasan CPO dengan variasi tekanan vakum	143
Gambar 4. 3: Peralatan Distilasi	146
Gambar 4. 4: Metode penelitian tahap 2	148
Gambar 4. 5: Skema pengukuran panas sepesifik.....	158
Gambar 4. 6: Skema pengukuran konduktivitas panas	160
Gambar 4. 7: Pengukuran pola perambatan panas	161
Gambar 4. 8: Skema prosedur penelitian	162
Gambar 4. 9: Reaktor	163
Gambar 5. 1: Tegangan tembus isolator berbahan CPO variasi suhu dan	170
Gambar 5. 2: Tegangan tembus isolator berbahan CPO untuk variasi suhu	171
Gambar 5. 3: Kadar air isolator berbahan CPO setelah pemanasan.....	172
Gambar 5. 4: Kadar air isolator berbahan CPO rata-rata terhadap	174
Gambar 5. 5: Kadar air rata-rata isolator pada variasi suhu.....	175
Gambar 5. 6: Viskositas isolator setelah pemanasan	176
Gambar 5. 7: Viskositas rata-rata isolator terhadap variasi tekanan vakum	176
Gambar 5. 8: Viskositas isolator berbahan CPO pada variasi suhu	177
Gambar 5. 9: Pemanasan CPO (a) tanpa <i>degumming</i> (b). Dengan <i>degumming</i>	178
Gambar 5. 10: Visualisasi CPO dalam tiap tahapan distilasi	179
Gambar 5. 11: Hasil pengujian kadar air	181
Gambar 5. 12: Plot kadar air	182
Gambar 5. 13: Plot <i>Response Surface Methodology</i> kadar air.....	183
Gambar 5. 14: Perbandingan kadar air metode <i>degumming</i> dan tanpa <i>degumming</i> ,	184
Gambar 5. 15: Hasil pengujian tegangan tembus.....	187
Gambar 5. 16: Hasil pengujian tegangan tembus.....	187
Gambar 5. 17: Residual plot tegangan tembus	190
Gambar 5. 18: Plot permukaan tegangan tembus isolator berbahan CPO	191
Gambar 5. 19: Tegangan tembus <i>degumming</i> dan tanpa <i>degumming</i>	193

Gambar 5. 20: Hasil pengujian viskositas kinematik.....	195
Gambar 5. 21: Plot residua viskositas kinematik isolator berbahan CPO.....	197
Gambar 5. 22: Response surface viskositas kinematik isolator dari CPO	199
Gambar 5. 23: Perbandingan antara <i>degumming</i> dan tanpa <i>degumming</i>	200
Gambar 5. 24: Hasil pengujian keasaman.....	202
Gambar 5. 25: Plot Keasaman	204
Gambar 5. 26: Analisis <i>response surface methodology</i> keasaman.	205
Gambar 5. 27: Warna CPO, isolator berbahan CPO dan minyak bumi	206
Gambar 5. 28: Droplet air di CPO pada suhu (a) 90°C (b).110°C (c).130°C (d).150°C.	207
Gambar 5. 29: Analisis tren kadar air dengan <i>vacuum spray drying</i>	208
Gambar 5. 30: Suhu dan tekanan vakum perlakuan terbaik.....	209
Gambar 5. 31: Fenomena perambatan panas minyak mineral, air dan	211
Gambar 5. 32: Perubahan suhu pemanasan air, minyak mineral, dan CPO.....	213
Gambar 5. 33: Perubahan suhu delta (T1 dan T2): air, minyak	214
Gambar 5. 34: Delta suhu T1 dan T2 untuk air, minyak mineral, dan CPO	214
Gambar 5. 35: Nilai viskositas dan densitas CPO dan minyak mineral.....	216
Gambar 5. 36: Perubahan suhu terkait aliran massa CPO dan.....	218
Gambar 5. 37: Pengaruh panjang pipa terhadap suhu CPO	221
Gambar 5. 38: Hubungan antara angka Nusselt dan angka Prandtl.....	224
Gambar 5. 39: Hubungan antara bilangan Prandtl dan suhu.....	225
Gambar 5. 40: Perbandingan <i>h</i> prediksi dan oservasi.	225
Gambar 5. 41: <i>Boxplot analysis</i> (a). Suhu CPO dan MO.....	231
Gambar 5. 42. <i>Contour plot</i> (a) suhu CPO (b) suhu MO	232
Gambar 5. 43 <i>Surface plot</i> (a) suhu CPO (b) suhu MO	237
Gambar 5. 44: Analisis <i>contour</i> CPO dan MO (a) suhu (b) daya	239
Gambar 5. 45: Optimisasi (a) CPO (b) MO	239
Gambar 5. 46: Nilai uji IEC 60156	242
Gambar 5. 47: Nilai tegangan tembus setiap waktu proses	244
Gambar 5. 48: Analisis aliran pengetahuan pengembangan teknologi	250
Gambar 5. 49: Analisis aliran massa dan energi pada reaktor	251
Gambar 5. 50: Aliran massa dan finansial	253
Gambar 6. 1: Roadmap pengembangan isolator	258
Gambar 6. 2: Roadmap penelitian pendingin.....	259

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Investasi.....	288
Lampiran 2: Depresiasi Peralatan.....	289
Lampiran 3: Biaya operasional	290
Lampiran 4: Analisis Laba Rugi	291
Lampiran 5: Analisis Investasi	292