



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI GANGGUAN
INTERBUS TRANSFORMER (IBT-1) 500/150 kV
DI GITET 500 kV KEMBANGAN - JAKARTA BARAT**

TESIS

M. SOLIKHUDIN
08 06 42 45 22

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCA SARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI GANGGUAN
INTERBUS TRANSFORMER (IBT-1) 500/150 kV
DI GITET 500 kV KEMBANGAN - JAKARTA BARAT**

TESIS

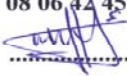
**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Bidang
ilmu teknik program studi Teknik Elektro**

M. SOLIKHUDIN
08 06 42 45 22

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCA SARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : M. Solikhudin
NPM : 08 06 42 45 22
Tanda Tangan : 
Tanggal : 12 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : M Solikhudin
NPM : 08 06 42 45 22
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tesis : STUDI GANGGUAN INTERBUS TRANSFORMER (IBT-1)
500/150 kV KEMBANGAN – JAKARTA BARAT

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy DEA (.....)
Pembimbing II : Ir. Amien Rahardjo MT (.....)
Penguji : Dr. Ir. Uno Bintang Sudibyo, DEA, IPM (.....)
Penguji : Budi Sudiarto ST, MT (.....)



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas Tesis ini. Penulisan ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister bidang ilmu teknik program studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan Tesis ini, sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan tugas ini.

Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy DEA selaku dosen pembimbing-1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik.
- (2) Ir. Amien Rahardjo MT selaku dosen pembimbing-2 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik.
- (3) PT. PLN (Persero) P3B JB – Region Jakarta dan Banten (PLN RJKB) yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan.
- (4) Teman dan sahabat karyawan PLN RJKB dan PLN LITBANG yang telah memberikan masukan dan diskusi untuk selesainya tugas ini
- (5) Keluarga saya yang telah memberikan dukungan moral.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 12 Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : M. Solikhudin
NPM : 08 06 42 45 22
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Listrik
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**STUDI GANGGUAN
INTERBUS TRANSFORMER (IBT-1) 500/150 kV
DI GITET 500 kV KEMBANGAN-JAKARTA BARAT**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Ditetapkan di : Depok
Pada tanggal : 12 Juli 2010
Yang menyatakan



(M. Solikhudin)

ABSTRAK

Nama : M. Solikhudin
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi Gangguan Inter Bus Transformer (IBT-1) 500/150 kV
Di GITET 500 kV Kembangan – Jakarta Barat.

Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV KEMBANGAN merupakan Salah satu gardu induk di wilayah operasi PLN RJKB – UPT Jakarta Barat. GITET 500 kV Kembangan terdiri dari 2 (dua) buah IBT 500/150 kV, 500 MVA dijadikan sebagai salah satu pemasok utama di wilayah Jakarta Barat diantaranya : menyuplai GI 150 kV Kembangan, New Senayan, Ciledug, Cikupa, Pasar kemis, Sepatan, Teluk naga, Jatake, Tangerang dan Maximangando.

Pada tanggal 27 September 2009 pukul 08.06 WIB terjadi gangguan pada instalasi IBT-1 500/150 kV fasa T dengan indikasi relai : Differential (87T), REF (87NT), OCR moment (50), Bucholz, Jansen, Suddent Pressure, Oil Temperature dan Winding Temperature.

Dari hasil perolehan data disimpulkan bahwa gangguan disebabkan oleh pemburukan kertas isolasi yang telah berlangsung lama, sehingga terjadi hubungan pendek (*short circuit*) pada internal transformator.

Pada saat gangguan terjadi, beban yang disuplai oleh IBT-1 dan IBT-2 masih rendah (IBT-1: 108 MW = 27% dari beban nominal dan IBT-2: 113 MW=28.25% dari beban nominal) dan IBT-2 sebesar 113 MW, sehingga akibat kejadian ini tidak terjadi pemadaman, karena beban yang ada dapat ditanggung oleh IBT-2 yang tidak terganggu..

Kata kunci:

Gangguan IBT-1 GITET Kembangan, Diagnosa minyak isolasi, Diagnosa Kertas Isolasi, DGA, oil quality test, furan test

ABSTRAK

Nama : M. Solikhudin
Program Studi : Electrical Engineering
Judul : Study of Interbus Transformer fault (IBT-1) 500/150 kV at
Extra High Substation 500 kV Kembangan – West Jakarta

Kembangan High Voltage sub station (GITET) 500 kV is One of the substations in the area of operations of PLN RJKB - UPT West Jakarta. 500 kV Kembangan Sub-station consists of two (two) IBT 500/150 kV, 500 MVA used as one of the main suppliers in the West Jakarta area including: supplying the 150 kV Sub station Kembangan, New Senayan, Ciledug, Cikupa Market Thursday, Sepatan, Gulf dragon, Jatake, Tangerang and Maximangando.

On September 27, 2009, at 8:06 pm disruptions occurred at IBT-1 installation phase-T with an indication of relay: Differential (87T), REF (87NT), OCR Moment (50), Bucholz, Jansen, Suddent Pressure, Oil Temperature and winding temperature.

From the results of data acquisition is concluded that the disruption caused by the deterioration of insulating paper that has lasted a long time, resulting in short circuit on the internal transformer.

At the time disturbance occurs, the load supplied by the IBT-1 and IBT-2 was relatively low (IBT-1: 108 MW = 27% of the nominal load and IBT-2: 113 MW = 28,25% of the nominal load), so this incident does not occur due to extinction, because the load can be borne by the IBT-2 is not disrupted.

Keywords:

IBT-1 disruption, Kembangan Sub-station, Diagnosis oil insulation, paper insulation diagnosis, DGA, oil quality tests, furans test

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI | v |
| ABSTRAK | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | x |
| | |
| 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.3. Metode Penelitian | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah | 3 |
| 1.5. Sistematika Penulisan | 3 |
| | |
| 2. LANDASAN TEORI | 4 |
| 2.1. Komponen Utama Transformator Tenaga | 4 |
| 2.2. Peralatan Proteksi Internal | 7 |
| 2.2.1. Relai Bucholz | 7 |
| 2.2.2. Jansen Membran | 7 |
| 2.2.3. Relai Tekanan Lebih (sudden pressure relay) | 7 |
| 2.2.4. Relai Thermis (temperature relay) | 8 |
| 2.3. Peralatan Tambahan Pengaman Transformator | 8 |
| 2.3.1. Relai Diferensial | 8 |
| 2.3.2. Relai Arus Lebih | 10 |
| 2.3.3. Relai Gangguan Tanah Terbatas (Restricted earth fault/REF) | 11 |
| 2.4. Bagian Internal Transformator yang Berpotensi Terjadinya Gangguan | 11 |
| 2.5. Kegagalan Isolasi dan Mekanismenya | 12 |
| 2.5.1. Kegagalan Isolasi | 12 |
| 2.5.2. Mekanisme Kegagalan Isolasi | 13 |
| 2.5.3. Mekanisme Kegagalan Bahan Isolasi Padat | 14 |
| 2.5.3.1 Kegagalan Asasi (intrinsik) | 15 |
| 2.5.3.2 Kegagalan Elektromekanik | 15 |
| 2.5.3.3 Kegagalan Streamer | 15 |
| 2.5.3.4 Kegagalan Thermal | 16 |
| 2.5.3.5 Kegagalan Erosi | 17 |
| 2.5.4. Mekanisme Kegagalan Isolasi Zat Cair | 19 |
| 2.5.4.1 Kegagalan Elektronik Pada Zat Cair | 19 |
| 2.5.4.2 Kegagalan Gelembung atau Kavitasasi pada Zat Cair | 19 |
| 2.5.4.3 Kegagalan Bola Cair dalam Zat Cair | 21 |
| 2.5.4.4 Kegagalan Butiran Pada dalam Zat Cair | 21 |
| 2.5.4.5 Kegagalan Campuran Zat Cair-Padat | 22 |
| 2.6. Karakteristik Minyak Isolasi | |
| 2.6.1. Mekanisme Pembentukan Gas | |
| 2.6.1.1 Pembentukan Gas Akibat Dekomposisi Minyak | 24 |
| 2.6.1.2 Pembentukan Gas Akibat Dekomposisi Isolasi Kertas | 24 |
| 2.6.1.3 Pembentukan Gas Akibat Proses Over Heating | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6.1.4 Pembentukan Gas Akibat Proses Pirolisis | 24 |
| 2.6.2. Sifat Fisika dan Kimia Gas | 25 |
| 2.7. Partial Discharge | 26 |
| 2.7.1. Analisa Partial Discharge | 27 |
| 2.7.2. Pengukuran Partial Discharge | 28 |
| 2.8. Tangen Delta..... | 30 |
| 2.8.1. Pengukuran/Pengujian Tangen Delta | 30 |
| 2.9. Pemeliharaan Peralatan Listrik Tegangan Tinggi | 31 |
| 2.9.1. Jenis-jenis Pemeliharaan..... | 32 |
| 2.9.2. Pemeliharaan Transformator Tenaga | 33 |
| 2.9.3. Pemeliharaan Minyak Transformator | 34 |
| 2.9.3.1 Pengujian Karakteristik Minyak Isolasi | 34 |
| 2.9.4. Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) dan Analisanya | 36 |
| 2.9.5. Pengujian Furan..... | 36 |
| 2.9.6. Pengujian Corrosive Sulfur | 38 |
| 2.10. Pembebanan Transformator Tenaga | 38 |
| 2. 10.1. Efek Pembebanan Melebihi Kapasitas Nama Plate | 38 |
| 2. 10.1.1 Pembebanan Darurat Waktu Lama | 39 |
| 2. 10.1.2 Pembebanan Darurat Waktu Singkat | 40 |
| 2.10.1.3. Hubungan Timbal Balik Dari Jenis-Jenis Pembebanan | 40 |
| 2.10.2. Pembatasan Pembebanan Maksimum | 42 |
| 2.10.4. Informasi Untuk Perhitungan User | 42 |
| 3. INVESTIGASI GANGGUAN IBT-1 GITET KEMBANGAN | 43 |
| 3.1. Gambaran Sistem Tenaga Listrik Jakarta dan Banten | 43 |
| 3.2. Gambaran Sub-Sistem Kembangan | 45 |
| 3.3. Kronologis Terjadinya Gangguan | 48 |
| 3.4. Jenis Pembebanan Transformator dan Kaitannya | 50 |
| 3.4.1. Ekspektasi Waktu Pembebanan Normal | 50 |
| 3.4.2. Rencana Pembebanan Melebihi Rating Namaplate | 50 |
| 3.4.3. Pembatasan Pembebanan Maksimum | 51 |
| 3.5. Diagnosa Kondisi Minyak Isolasi | 52 |
| 3.5.1. Pengujian Karakteristik Minyak Isolasi | 52 |
| 3.5.1.1 Tegangan Tembus Minyak (breakdown voltage)..... | 53 |
| 3.5.1.2 Warna (colour)..... | 53 |
| 3.5.1.3 Tegangan antar Permukaan (interfacial tension/IFT) | 53 |
| 3.5.1.4 Kandungan Air Dalam Minyak (water content)..... | 54 |
| 3.5.1.5 Angka Kenetralan (neutralization number/NN) | 55 |
| 3.5.1.6 Titik Nyala (flash point) | 56 |
| 3.5.1.7 Endapan (sludge) | 56 |
| 3.5.2. Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) | 57 |
| 3.5.3. Diagnosis Transformator Menggunakan Konsentrasi Individual Gas dan Total Dissolved Combustible Gases (TDCG)..... | 57 |
| 3.5.4. Menentukan Prosedur Operasi dan Periode Pengujian Berdasarkan TDCG dan Peningkatannya Dalam Minyak | 58 |
| 3.5.5. Pengujian Corrosive Sulfur | 5 |
| 3.6. Diagnosa Kondisi Kertas Isolasi | 6 |
| 3.6.1. Rasio CO/CO2 | 60 |
| 3.6.2. Furan | 61 |
| 3.7. Evaluasi Type Gangguan Yang Mungkin Muncul Dengan Metode Gas Kunci (Key Gases) | 61 |

| | |
|---|----|
| 4. DATA DAN ANALISIS | 63 |
| 4.1. Analisis Pola Pembebanan | 63 |
| 4.2. Analisis Penurunan Isolasi | 63 |
| 4.2.1 Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) | 64 |
| 4.2.2 Pengujian Karakteristik (oil quality test)..... | 65 |
| 4.2.3 Pengujian Furan (furan test) | 65 |
| 4.2.4. Pengujian Setelah Proses Filter online | 66 |
| 4.2.4.1 Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) | 66 |
| 4.2.4.2 Pengujian Karakteristik (oil quality test) | 67 |
| 4.2.4.3 Pengujian Furan | 68 |
| 4.2.5. Hasil Pengujian Minyak Setelah Reklamasi | 70 |
| 4.3. Analisis Rekaman Kejadian | 75 |
| 4.3.1. Catatan Operator GI | 75 |
| 4.3.2. Relai Yang Bekerja dari Rekaman DFR dan ROS file SCADA | 76 |
| 4.3.2.1 Data ROS file SCADA..... | 76 |
| 4.3.2.2 Data Rekaman DFR | 77 |
| 4.3.2.3 Analisis Gangguan Berdasarkan Rekaman DFR dan ROS file SCADA | 77 |
| 4.4. Analisis Foto-foto Saat Terjadi Kebakaran | 78 |
| 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 79 |
| 5.1. Kesimpulan | 79 |
| 5.2. Saran | 79 |
| DAFTAR PUSTAKA | 80 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---------------|---|----|
| Gambar 2.1: | Konstruksi belitan transformator | 4 |
| Gambar 2.2: | Gambaran fisik belitan transformator tenaga | 5 |
| Gambar 2.3: | Komponen-komponen internal transformator | 5 |
| Gambar 2.4: | Ilustrasi aliran arus ketika terjadi gangguan internal..... | 9 |
| Gambar 2.5: | Ilustrasi aliran arus ketika terjadi gangguan eksternal..... | 9 |
| Gambar 2.6: | Kurva karakteristik relai arus lebih..... | 11 |
| Gambar 2.7: | Peta potensi gangguan internal transformator | 12 |
| Gambar 2.8: | Grafik kegagalan isolasi | 14 |
| Gambar 2.9: | Kegagalan termal | 16 |
| Gambar 2.10: | Kegagalan erosi dan rangkaiannya | 17 |
| Gambar 2.11: | Bentuk gelombang rongga isolasi ekuivalen padat | 17 |
| Gambar 2.12: | Bentuk gas dalam rongga saat mengalami kegagalan | 18 |
| Gambar 2.13: | Pengaruh medan terhadap gelembung udara | 20 |
| Gambar 2.14: | Kekuatan gagal medan gelembung | 20 |
| Gambar 2.15: | Medan listrik bentuk sferoida | 21 |
| Gambar 2.16: | Kegagalan butiran padat | 22 |
| Gambar 2.17: | Karakteristik tekanan thermal minyak mineral | 23 |
| Gambar 2.18: | Penyebab dan gas yang timbul dalam minyak isolasi | 25 |
| Gambar 2.19: | Pengukuran parsial discharge secara on-line dengan AED-2000..... | 28 |
| Gambar 2.20: | Hasil pengukuran monitor yang mendeteksi adanya PD..... | 29 |
| Gambar 2.21: | Pengukuran PD pada secara on-line dengan ultrasound instrumen..... | 29 |
| Gambar 2.22: | Rangkaian pengujian tangen delta | 31 |
| Gambar 2.23: | Profil temperature titik terpanas pembebanan | 40 |
| Gambar 3.1.: | Beban IBT di Sistem Jawa-Bali (logsheet) | 43 |
| Gambar 3.2.: | Diagram sistim penyaluran di Sub-sistem RJKB | 44 |
| Gambar 3.3.: | Single line diagram Sub-sistem GITET 500 kV Kembangan | 45 |
| Gambar 3.4.: | Single line diagram GITET 500 kV Kembangan | 46 |
| Gambar 3.5.: | Single line diagram diameter IBT-1 GITET 500 kV Kembangan | 47 |
| Gambar 3.6.: | Rangkaian transformator IBT (3 x 1 fasa) dengan vektor group YNyn0 | 48 |
| Gambar 3.7.: | Prosentase saturasi air dalam minyak | 55 |
| Gambar 3.8.: | Tingkat corrosive sulfur | 59 |
| Gambar 3.9.: | Gas yang muncul oleh overheated oil | 61 |
| Gambar 3.10.: | Gas yang muncul oleh overheated sellulosa | 62 |
| Gambar 3.11.: | Gas yang muncul oleh corona dalam minyak | 62 |
| Gambar 3.12.: | Gas yang muncul oleh arcng dalam minyak | 62 |
| Gambar 4.1.: | Pola pembebanan IBT-1 tanggal 23 s/d 27 September 2009 | 63 |
| Gambar 4.2.: | Grafik estimasi sisa umur trafo berdasarkan hasil uji furan | 69 |
| Gambar 4.3.: | Grafik pengujian kadar air IBT-1 asa R & T | 71 |
| Gambar 4.4.: | Grafik pembentukan CO & CO2 IBT-1 fasa T | 72 |
| Gambar 4.5: | Grafik hasil pengujian furan tanggal 25 Desember 2008 | 73 |
| Gambar 4.6: | Alur trip relai pengaman | 75 |
| Gambar 4.7: | Rekaman arus pada saat gangguan IBT-1 GITET Kembangan | 76 |
| Gambar 4.8: | Foto setelah terjadi kebakaran | 77 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|--------------|--|----|
| Tabel 3.1. : | Relai yang bekerja dan indikasi saat terjadi gangguan | 49 |
| Tabel 3.2. : | Data beban sebelum terjadi gangguan | 49 |
| Tabel 3.3. : | Coordination of suggested loading type, duration and temperature Range | 51 |
| Tabel 3.4. : | Suggested maximum temperature limits for the four types Of loading | 51 |
| Tabel 3.5. : | Suggested design limits for new transformers when loading Information is not supplied | 51 |
| Tabel 3.6. : | Time interval for periodical control of oil | 52 |
| Tabel 3.7. : | Content and procedure of the tests | 52 |
| Tabel 3.8. : | Standar hasil pengujian kekuatan dielektrik | 53 |
| Tabel 3.9. : | Kondisi relatif minyak berdasarkan warna | 53 |
| Tabel 3.10 : | Standar hasil pengujian IFT | 54 |
| Tabel 3.11 : | Batasan nilai pengujian karakteristik | 54 |
| Tabel 3.12 : | Standar hasil pengujian kandungan air dalam minyak | 54 |
| Tabel 3.13 : | Batasan nilai pengujian kadar air | 55 |
| Tabel 3.14 : | Standar hasil pengujian angka keasaman | 55 |
| Tabel 3.15 : | Nilai perbandingan IFT dengan NN | 56 |
| Tabel 3.16 : | Nilai referensi untuk pengujian minyak | 56 |
| Tabel 3.17 : | Nilai referensi untuk pengujian minyak | 57 |
| Tabel 3.18 : | Batasan nilai kandungan gas dalam minyak isolasi | 57 |
| Tabel 3.19 : | Konsentrasi gas dalam minyak isolasi | 58 |
| Tabel 3.20 : | Langkah berdasarkan pada TDCG | 59 |
| Tabel 3.21 : | Akumulasi gas CO ₂ dan CO | 60 |
| Tabel 3.22 : | Furans, DP, Percent of life used, of paper insulation | 22 |
| Tabel 4.1. : | Data hasil pengujian DGA | 64 |
| Tabel 4.2. : | Hasil pengujian karakteristik- <i>oil quality test</i> tgl. 13 sept. 2007 | 65 |
| Tabel 4.3. : | Hasil pengujian furan tgl. 05 Oktober 2007 | 65 |
| Tabel 4.4. : | Hasil pengujian furan tanggal 11 Desember 2007 (laboratorium TACS-OiLAB Australia) | 66 |
| Tabel 4.5. : | Data hasil pengujian DGA | 67 |
| Tabel 4.6. : | Hasil pengujian karakteristik- <i>oil quality test</i> tgl. 12 febr. 2008 | 67 |
| Tabel 4.7. : | Hasil pengujian karakteristik- <i>oil quality test</i> tgl. 19 Febr. 2008 | 67 |
| Tabel 4.8. : | Hasil pengujian karakteristik- <i>oil quality test</i> tgl. 22 Febr. 2008 | 68 |
| Tabel 4.9. : | Hasil pengujian furan tanggal 19 Febr. 2008 (laboratorium TXM Malaysia) | 68 |
| Tabel 4.10 : | Jadwal pelaksanaan reklamasi minyak isolasi | 70 |
| Tabel 4.11 : | Hasil pengujian karakteristik- <i>oil quality test</i> IBT-1 fasa T | 70 |
| Tabel 4.12 : | Hasil pengujian DGA IBT-1 T | 71 |
| Tabel 4.13 : | Hasil pengujian furan IBT-1 fasa R dan T | 72 |
| Tabel 4.14 : | Hasil perhitungan perkiraan umur trafo berdasarkan hasil uji furan | 72 |
| Tabel 4.15 : | Estimasi nilai %EPRL IBT-1 fasa T | 73 |
| Tabel 4.16 : | Hasil pengujian corrosive sulfur | 73 |
| Tabel 4.17 : | Catatan gangguan IBT-1 GITET Kembangan | 75 |
| Tabel 4.18 : | Data rekaman ROS file SCADA saat terjadi gangguan | 76 |