

HIBAH PEKERTI



## LAPORAN AKHIR

HIBAH PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI  
( Hibah PEKERTI )

PENGUKURAN PELUAHAN SEBAGIAN ( *Partial Discharge* )  
BERBASIS KOMPUTER DAN APLIKASINYA UNTUK DIAGNOSIS  
KONDISI ISOLASI PERALATAN LISTRIK TEGANGAN TINGGI

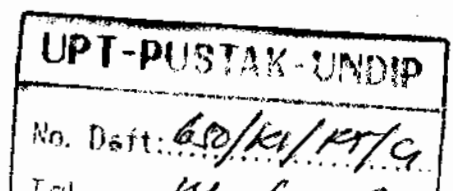
Tim Peneliti Pengusul :

Ketua : Abdul Syakur, S.T., M.T.

Anggota : Ir. Joko Windarto, MT

Dibiayai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi,  
Departemen Pendidikan Nasional, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan  
Pekerjaan Penelitian Nomor : 031/SPPP/PP/DP3M/IV/2005  
tanggal : 11 April 2005

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO – SEMARANG  
NOPEMBER, 2005**



**IDENTITAS DAN PENGESAHAN  
LAPORAN AKHIR HIBAH PEKERTI 2005**

---

01. a. Judul Penelitian : Pengukuran Peluahan Sebagian ( *Partial Discharge* ) Berbasis Komputer dan Aplikasinya untuk Diagnosis Kondisi Isolasi Peralatan Listrik Tegangan Tinggi.  
b. Bidang Ilmu : Teknik  
c. Kategori Penelitian : Mengembangkan IPTEK dan Seni
02. Ketua Tim Peneliti Pengusul (TPP):  
a. Nama : Abdul Syakur, ST, MT.  
b. NIP : 132 231 132  
c. Golongan/Pangkat : III/b  
d. Jabatan Fungsional : Lektor  
e. Jabatan Struktural : -  
f. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro  
g. Pusat Penelitian : Laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang
03. Susunan TPP : Anggota 2 orang (termasuk Ketua)
04. Ketua Tim Peneliti Mitra : Dr. Ir. Suwarno.
05. Lokasi TPM : Laboratorium Teknik Tegangan dan Arus Tinggi Departemen Teknik Elektro – Institut Teknologi Bandung.
06. Lama Penelitian : 2 Tahun
07. Biaya :  
Tahun Pertama : Rp. 62.000.000,-  
( enam puluh dua juta rupiah )  
Tahun Kedua : Rp 65.823.000,-  
( enam puluh lima juta delapan ratus dua puluh tiga ribu rupiah )
08. Sumber Dana : HIBAH PEKERTI DIKTI DEPDIKNAS.
- 

Ketua TPM



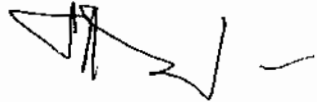
Dr. Ir. Suwarno  
NIP. 131 875 312

Menyetujui:  
Kepala Lembaga Penelitian  
Universitas Diponegoro

Prof. Dr. dr. Igh. Riwanto, Sp.BD.  
NIP. 130 529 454



Semarang, 10 Nopember 2005  
Ketua TPP



Abdul Syakur, ST, MT.  
NIP. 132 231 132

Mengetahui:  
a.n. Dekan  
Pembantu Dekan I Fakultas Teknik  
Universitas Diponegoro

H. Pranoto S.A., Dipl. HE, MT.  
NIP. 134 459 469



## ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kerusakan isolasi dengan melakukan pengukuran *partial discharge*. Pada saat sistem isolasi sedang menahan tegangan listrik yang tinggi, ada bagian-bagian tertentu dari sistem isolasi ini yang mengalami peluahan sebagian (*Partial Discharge*). PD ini berhubungan dengan proses penurunan kualitas isolasi. Peristiwa PD ini dapat terjadi karena adanya proses pabrikan yang tidak sempurna misalnya adanya cacat berupa rongga udara bertekanan rendah (*void*), tonjolan ataupun ketidakmurnian bahan isolasi. Untuk waktu yang lama, *partial discharge* ini akan membentuk jembatan konduktif dan dapat menyebabkan *breakdown* sempurna. Kegagalan isolasi ini, mengakibatkan kontinuitas penyaluran energi listrik terhenti. Semua pihak akan mengalami kerugian. Oleh karena itu, perhatian dan penelitian telah dicurahkan untuk memperbaiki sistem isolasi dengan beberapa metode yang telah dikembangkan.

Penelitian ini terutama ditujukan untuk mengetahui perilaku PD pada proses penuaan material isolasi. Besaran yang diukur adalah muatan ( $q$ ) sebagai fungsi waktu ( $t$ ) dan pengaruh penerapan tegangan ( $V$ ).

Dengan adanya penelitian ini diharapkan, akan dibangun suatu sistem pengukuran *partial discharge* pada sistem isolasi peralatan tegangan tinggi dengan sistem pengukuran berbasis komputer. Lebih jauh lagi, diharapkan dapat diperoleh suatu *hardware* yang dapat digunakan untuk deteksi kerusakan isolasi pada peralatan tegangan tinggi secara langsung.

Kata kunci : *partial discharge*, elektrode II CIGRE, *void*.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Segala puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan akhir hibah PEKERTI tahun 2005 yang berjudul Pengukuran Peluahan Sebagian ( *Partial Discharge* ) Berbasis Komputer dan Aplikasinya untuk Diagnosis Kondisi Isolasi Peralatan Listrik Tegangan Tinggi.

Dalam menyelesaikan penelitian ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada bagian pengantar ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini,
2. Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro yang telah memonitor pelaksanaan penelitian dan terus memacu kegiatan penelitian di UNDIP
3. Laboratorium Teknik Tegangan dan Arus Tinggi ( LTTAT ) Departemen Teknik Elektro ITB atas kesempatan dan fasilitas laboratorium yang disediakan kepada penulis untuk melakukan penelitian.
4. Segenap civitas akademika Fakultas Teknik UNDIP
5. Segenap civitas akademika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNDIP
6. Ibu atas doanya, istri atas kesabarannya dan anak-anak yang selalu menghibur
7. Semua pihak-pihak yang telah banyak membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu disini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih kurang sempurna dan terdapat kekurangan disana-sini baik dari segi isi maupun cara penyusunannya, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Semoga laporan akhir ini dapat memberikan manfaat kepada penulis khususnya dan para pembaca pada umumnya.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Semarang, Nopember 2005

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	hal i
<b>LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	4
1.4 Metode Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	6
 <b>BAB II PARTIAL DISCHARGE PADA BAHAN POLIMER</b>	
2.1 Pendahuluan .....	7
2.2 Kegagalan dalam Zat Gas .....	7
2.3 Kegagalan dalam Zat Padat .....	11
2.4 Isolasi Polimer .....	17
2.5 Penurunan Kualitas Isolasi .....	18
2.6 Partial Discharge di Dalam Bahan Isolasi .....	18
2.7 Partial Discharge pada Void .....	20
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Pendahuluan .....	23
3.2 Sampel dan Elektroda	
3.2.1 Sampel .....	23
3.2.2 Elektroda .....	25
3.2.3 Posisi Sampel dan Elektroda .....	28

3.3 Sistem Pengukuran	
3.3.1 Peralatan Pengukuran dan Spesifikasinya .....	28
3.3.2 Rangkaian Pengukuran dan Akuisisi Data .....	32
3.4 Teknik Pengambilan Data	
3.4.1 Pengamatan Karakteristik PD sebagai Fungsi Waktu .....	38
3.4.2 Pengamatan Karakteristik PD sebagai Fungsi Tegangan .....	39
3.4.3 Pengamatan Pengaruh Kelembaban terhadap Karakteristik PD .....	39
3.5 Bentuk Representasi Pulsa PD .....	40

#### **BAB IV HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA**

4.1 Hasil Pengukuran .....	43
4.2 Karakteristik Muatan Maksimum PD sebagai Fungsi Tegangan .....	45
4.3 Karakteristik Jumlah Pulsa PD sebagai Fungsi Tegangan .....	48

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran .....	51

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **BIODATA PENELITI**

#### **LAMPIRAN DOKUMENTASI**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Variasi tegangan tembus pada zat padat .....	11
Gambar 2.2	Tegangan dan arus pada void .....	16
Gambar 2.3	Drop tegangan vs arus peluahan .....	16
Gambar 2.4	Model void dan pulsa partial discharge .....	19
Gambar 2.5	Rangkaian ekivalen void .....	21
Gambar 3.1	Sampel dan kapton pemisah .....	23
Gambar 3.2	Elektroda referensi .....	26
Gambar 3.3	Sistem elektroda metode II CIGRE pada percobaan .....	27
Gambar 3.4	Posisi sampel dan kapton pemisah .....	28
Gambar 3.5	Rangkaian pengukuran dengan RC Detector .....	29
Gambar 3.6	Rangkaian RC Detector dan HPF .....	31
Gambar 3.7	Rangkaian pengukuran partial discharge .....	33
Gambar 3.8	Contoh tampilan LabView .....	34
Gambar 3.9	Hasil pengukuran disimpan dalam file notepad .....	35
Gambar 3.10	Contoh hasil pengolahan MathLab langkah pertama .....	36
Gambar 3.11	Contoh hasil pengolahan MathLab langkah ke-2 .....	36
Gambar 3.12	Data hasil pengolahan MathLab .....	37
Gambar 3.13	Hasil akhir pengolahan menggunakan MS Excell .....	38
Gambar 3.14	Bentuk urutan pulsa PD pada Void .....	40
Gambar 4.1	Pengaruh tegangan terhadap muatan maksimum PD sampel PVC .....	45
Gambar 4.2	Pengaruh tegangan terhadap muatan maksimum PD sampel PMMA .....	45
Gambar 4.3	Pengaruh tegangan terhadap muatan maksimum PD sampel EAA .....	46
Gambar 4.4	Perubahan arus sebagai fungsi dari kuat medan .....	47
Gambar 4.5	Karakteristik Jumlah pulsa PD sebagai fungsi tegangan pada sampel PVC .....	48
Gambar 4.6	Karakteristik Jumlah pulsa PD sebagai fungsi tegangan pada sampel PMMA .....	49
Gambar 4.7	Karakteristik Jumlah pulsa PD sebagai fungsi tegangan pada sampel EAA .....	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Kebutuhan termoplastik tahun 1993 di USA .....	24
Tabel 3.2	Perbandingan sifat-sifat dielektrik .....	25
Tabel 4.1	Hasil pengukuran muatan maksimum PD terhadap waktu sampel PVC .....	42
Tabel 4.2	Hasil pengukuran jumlah pulsa PD terhadap waktu sampel PVC .....	42
Tabel 4.3	Pengaruh tegangan terhadap muatan maksimum PD sampel PVC .....	43
Tabel 4.4	Pengaruh tegangan terhadap jumlah pulsa PD sampel PVC .....	43
Tabel 4.5	Hasil pengukuran dengan menggunakan sampel PMMA .....	44



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Semakin berkembang dan majunya teknologi menuntut pula perkembangan pada fasilitas yang digunakan, ini membuat manusia berusaha memperoleh solusi dan pemecahannya. Demikian pula dalam bidang kelistrikan, pada sistem penyaluran daya listrik seringkali karena letak antara pusat beban dengan pusat pembangkit daya listrik yang jauh. Maka dibutuhkan sistem penyaluran daya listrik yang baik dan handal. Penyaluran daya listrik dari satu tempat ke tempat lain dalam kuantitas kecil atau besar membutuhkan penghantar yang baik, khususnya untuk pengiriman energi listrik dalam kuantitas yang besar.

Isolasi yang baik sangat penting dalam desain untuk penghantar listrik (misalnya kabel). Isolasi adalah sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau, dalam hal gradien tinggi, dan lompatan api (*flashover*). Menurut macam bahan yang dipakai, suatu material isolasi dibagi menjadi tiga golongan, yaitu padat, cair, dan gas dimana ketiganya banyak digunakan sebagai isolasi peralatan tegangan tinggi.

Akhir-akhir ini, penyaluran energi listrik dengan menggunakan kabel berisolasi terus meningkat tidak hanya untuk tegangan tinggi 150 kV, namun juga untuk tegangan menengah 20 kV. Tidak hanya kabel bawah tanah, penyaluran energi listrik juga menggunakan kabel yang dipasang di tiang Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Penyaluran energi listrik dengan menggunakan Saluran Kabel Bawah Tanah (SKBT) maupun Saluran Kabel Udara (SKU) masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Untuk kabel bawah tanah memiliki kelebihan mampu mereduksi medan elektromagnetik dan fenomena gejala medan tinggi yang muncul serta tidak mengganggu pemandangan dilihat dari segi estetika tata ruang. Namun kelemahannya biaya investasi mahal dan kalau terjadi kerusakan pada

sepanjang kabel, maka sulit untuk mendeteksi lokasi kerusakan tersebut. Sementara saluran kabel udara, meskipun aman dari bahaya sentuhan tegangan secara langsung, namun pemasangan kabel udara ini mengganggu pemandangan, membebani tiang jaringan tegangan menengah yang ada. Demikian juga pada saat terjadi kerusakan isolasi karena hubung singkat, stress elektrik maupun kenaikan suhu di atas ambang batas yang diperbolehkan, maka akan *mengalami kesulitan untuk mendeteksi lokasi terjadi gangguan dan lokasi kerusakan*.

Pada kabel berisolasi polimer padat banyak memiliki kelebihan dibandingkan minyak dan gas, seperti ketahanan yang tinggi terhadap penuaan (*thermal aging*) sehingga lebih efisien, resiko kebakaran akibat minyak kabel tidak ada, dan juga tidak memerlukan perawatan. Material isolasi akan menunjukkan sifatnya bila dipengaruhi oleh medan listrik, jika medan listrik tersebut berasal dari arus bolak-balik maka gejalanya adalah sangat kompleks. Sehingga untuk pemakaian bahan isolasi diharuskan memilih bahan yang sesuai setelah mengetahui sifat-sifat dari masing-masing bahan dan membandingkan harga dari bahan yang akan dipilih. Bahan isolasi yang sangat penting dalam peralatan tegangan tinggi adalah bahan isolasi yang termasuk bahan dielektrik, seperti benda padat, benda cair, dan benda gas. Sementara isolasi di dalam kabel, kadang terjadi kenaikan temperatur karena adanya faktor dari dalam misalnya hubung singkat yang menimbulkan arus yang besar atau faktor dari luar, misalnya suhu udara yang tinggi akibat polusi di sekitarnya. Hal ini berpengaruh terhadap ketahanan dari bahan isolasi tersebut.

Dalam desain suatu kabel, isolasi adalah salah satu faktor yang penting. Banyak jenis bahan isolasi yang telah digunakan misalnya LDPE, XLPE, PVC atau jenis polimer lainnya. Kabel isolasi polimer mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan kabel OF. Ketahanannya yang tinggi terhadap penuaan termal (*thermal aging*) membuat kabel polimer lebih efisien daripada kabel OF. Karena tidak mengandung minyak kabel, maka kabel polimer bebas dari kegagalan yang berhubungan dengan migrasi minyak. Resiko kebakaran akibat minyak kabel juga tidak ada pada kabel polimer.

Titik kritis yang berpengaruh pada unjuk kerja kabel polimer adalah adanya cacat. Cacat itu dapat timbul dalam bentuk *void*, ketidakmurnian (*impurity*) dan tonjolan pada *interface* antara lapisan semikonduktor dan isolasi polimer. Akibat adanya stress listrik dan stress termal yang terus menerus maka akan terjadi penuaan isolasi polimer dan pada cacat ini tumbuh *electrical treeing*. Dua penuaan yang paling sering dialami pada kabel berisolasi polimer adalah *void discharge* dan *electrical treeing*. Jika *electrical treeing* ini menjembatani isolasi, maka kegagalan isolasi akan terjadi. Peristiwa sebelum terjadi kegagalan isolasi dapat dideteksi dengan pengamatan dan pengukuran pulsa *partial discharge* yang mengiringi peristiwa *electrical treeing*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sistem pengukuran yang dilakukan untuk mendeteksi adanya kerusakan pada isolasi polimer, dengan cara mengukur besaran muatan ( $q$ ) dari pulsa *partial discharge* sebagai fungsi waktu ( $t$ ). Selanjutnya data-data hasil pengukuran tersebut dibuat kedalam suatu grafik karakteristik *partial discharge* untuk dilakukan analisa berkaitan unjuk kerja bahan isolasi ketika dikenai tegangan tinggi.

## 1.2 TUJUAN

Di dalam penelitian ini, tujuan yang hendak dicapai adalah :

- a. Melakukan pengkajian terhadap beberapa metode untuk mengukur peluahan sebagian (*partial discharge*) pada bahan isolasi polimer.
- b. Membuat sistem elektroda metode II CIGRE dan sistem elektroda Jarum-Bidang.
- c. Melakukan pengukuran pada beberapa bahan isolasi padat polimer.
- d. Melakukan analisa terhadap hasil-hasil pengukuran untuk mengamati karakteristik *Partial Discharge* yang diperoleh,
- e. Menentukan tingkat kerusakan bahan isolasi.
- f. Meningkatkan kemampuan meneliti terutama pada bidang isolasi peralatan tegangan tinggi dan mengembangkan sistem pengukuran .

### 1.3 PEMBATASAN MASALAH

Untuk membatasi masalah yang akan diteliti, maka diambil asumsi-asumsi sebagai berikut :

- a. Tegangan yang diterapkan adalah tegangan AC ( 50 Hz )
- b. Sampel yang digunakan adalah *Polyvinyl Chloride* (PVC) tebal 100  $\mu\text{m}$ , PMMA tebal 1 mm, dan EAA
- c. Elektroda metode II CIGRE digunakan untuk mengukur pada sampel PVC dan PMMA
- d. Elektroda jarum-bidang digunakan untuk mengukur pada sampel EAA
- e. Temperatur pada saat pengukuran adalah temperatur ruang.

### 1.4 METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

#### a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami permasalahan yang berkaitan dengan mekanisme peluahan sebagian dan sistem pengukuran berbasis komputer. Kegiatan studi literatur ini dilakukan dengan cara mengumpulkan bahan-bahan pustaka dari berbagai jurnal, buku, majalah ilmiah dan dari website dan melakukan diskusi

#### b. Pembuatan Program Bantu

Pembuatan program bantu ini dilakukan untuk membantu sistem pengukuran berbasis komputer. Pengukuran secara konvensional dapat dilakukan cukup dengan menggunakan osiloskop, namun masih ada kelemahannya antara lain : tidak mampu menampilkan pulsa peluahan sebagian pada proses pemohonan listrik ( *electrical tree* ) sehingga harus ditambah dengan seperangkat Amplifier, dan tidak mampu melakukan penyimpanan data hasil pengukuran. Oleh karena itu perlu dibuat program bantu berupa suatu sistem pengukuran berbasis komputer.

### c. Pengukuran di Laboratorium

Pengukuran di laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data primer dari bermacam-macam sampel isolasi yang dikenai tegangan tinggi. Pengukuran terhadap media isolasi tersebut dengan menggunakan 2 metode, yaitu :

1. Metode Elektroda CIGRE II
2. Metode Elektroda Jarum – Bidang ( *Needle – Plane* )

Metode pertama digunakan untuk memperkirakan tingkat kerusakan pada bahan isolasi kaitannya dengan adanya rongga bertekanan rendah ( *void* ).

Sedangkan metode yang kedua untuk mengetahui tingkat kerusakan isolasi kaitannya dengan mekanisme pemohonan listrik ( *electrical treeing* ) pada bahan isolasi. Kedua metode tersebut sudah banyak digunakan untuk menganalisis kondisi isolasi pada saat menahan tegangan tinggi.

### d. Analisa hasil pengukuran

Berdasarkan data-data hasil pengukuran yang telah dilakukan, tahap berikutnya adalah melakukan diskusi dan analisa. Fenomena degradasi tingkat isolasi dapat diamati dengan melihat perubahan karakteristik PD.

### e. Pembuatan Laporan

Seluruh tahap persiapan, pengerjaan dan pembuatan program serta pengukuran dan hasil-hasilnya akan dibuat dalam suatu laporan akhir tahun kegiatan disesuaikan dengan target tahun kegiatannya. Selain dalam bentuk laporan juga akan ditulis dalam bentuk makalah/paper penelitian yang juga disesuaikan dengan targetnya. Makalah/paper penelitian ini akan diusulkan untuk dipublikasikan melalui kegiatan seminar dan melalui majalah atau jurnal khususnya di bidang isolasi tegangan tinggi.

## 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan di dalam tugas akhir ini yang terdiri dari beberapa bab adalah sebagai berikut :

### **BAB I     PENDAHULUAN**

Berisi mengenai latar belakang masalah, tujuan, metode penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II    *PARTIAL DISCHARGE* PADA BAHAN POLIMER**

Berisi mengenai mekanisme kegagalan dalam zat gas, mekanisme kegagalan dalam zat padat yang meliputi jenis-jenis kegagalan menurut waktu penerapan tegangan, teori degradasi isolasi polimer pada kabel dan konsep *partial discharge* pada bahan polimer.

### **BAB III   METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi mengenai bahan dan peralatan pengukuran, sampel, elektroda dan holder, serta teknik pengambilan data yang meliputi prosedur pengambilan data pada bahan isolasi dan sistem pengukuran *partial discharge*.

### **BAB IV    HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA**

Berisi mengenai data-data hasil pengukuran, pembahasan data hasil pengukuran dan analisa hasilnya dengan menampilkan karakteristik *partial discharge* fungsi waktu dan variasi tegangan.

### **BAB V     PENUTUP**

Berisi mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dan saran-saran.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**