



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

# KARAKTERISTIK PETIR POSITIF PADA MUSIM DINGIN DI JEPANG

SKRIPSI



EKI ULYA

No. BP : 05 175 023

FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG 2011

## ABSTRAK

*Jepang merupakan suatu negara dengan intensitas angin cukup kencang. Potensi alam ini dimanfaatkan Jepang dengan membangun pembangkit listrik tenaga angin sehingga dapat mengkonversi potensi angin ini menjadi sumber listrik Jepang. Turbin angin yang di pasang dengan ketinggian sekitar 100 meter di atas permukaan tanah sering kali menjadi objek sambaran petir terutama pada musim dingin, sehingga menyebabkan terganggunya operasional turbin.*

*Penelitian Tugas Akhir ini menjelaskan karakteristik petir positif pada musim dingin di Jepang. Data penelitian Tugas akhir ini berdasarkan data pengamatan yang telah dilakukan oleh Ariadi Azmi pada musim dingin dari tahun 2006 sampai 2009 dengan objek sambaran berupa tower dan windmill di kota Uchinada, Prefektur Ishikawa, Jepang. Dari analisa tugas akhir ini didapatkan karakteristik petir positif pada musim dingin di Jepang berupa arus puncak petir berkisar 2,237 – 22,228 kA, durasi arus bernilai kisaran 34,67 – 60,29 milidetik, total perpindahan charge berkisar 8,968 – 64,158 coulomb, rise time berkisar 2,492 – 32,807 milidetik, dan karakteristik pulsa arus petir positif dengan nilai (durasi arus pulsa 0,2549 milidetik, arus puncak pulsa 2,4335 kA, total charge pulsa 74,114  $\mu$ C, rise time pulsa 0,092 milidetik ). Selain itu dapat disimpulkan sistem proteksi turbin angin kurang memadai sehingga menyebabkan terjadinya beberapa kali sambaran petir positif terhadap turbin.*

*Kata kunci : Petir positif, turbin angin, sistem proteksi petir.*

## KATA PENGANTAR

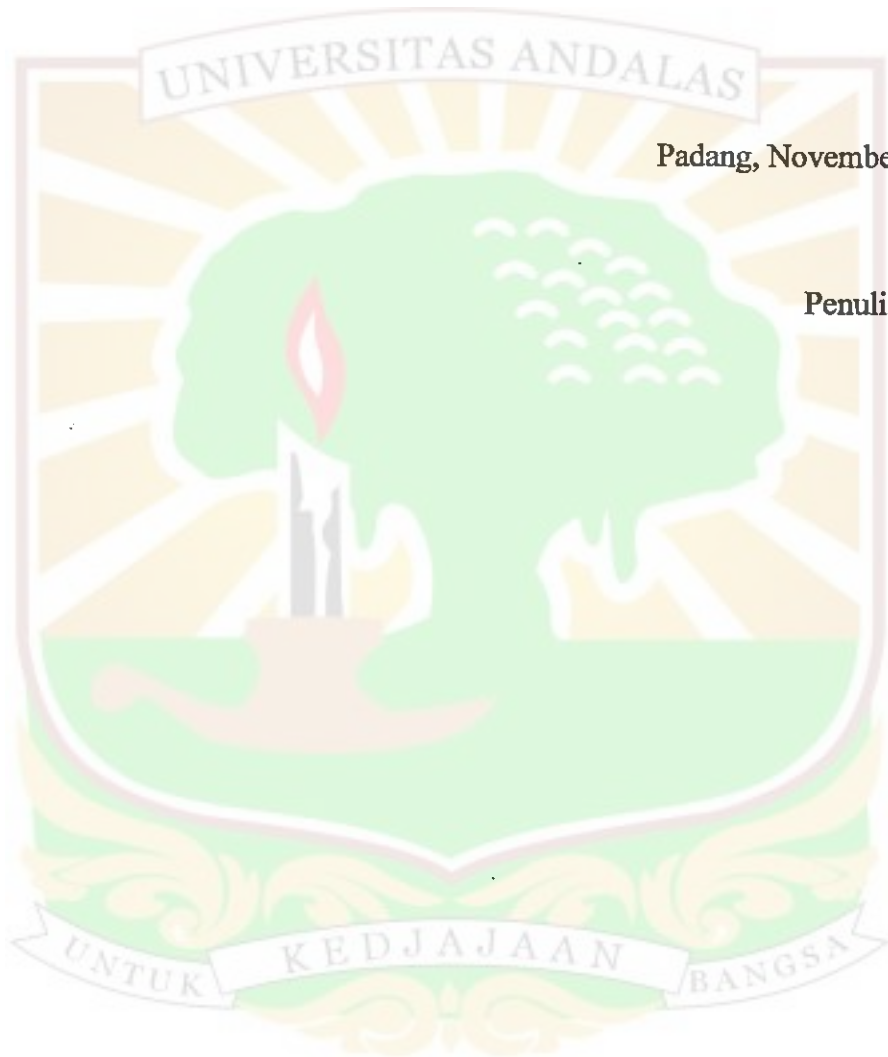
Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karuniaNya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **Karakteristik Petir Positif Pada Musim Dingin Di Jepang** sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Strata 1 (S1) di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Dalam penulisan ini, penulis banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ariadi Hazmi, Dr Eng selaku dosen pembimbing. Terima kasih atas ide, tuntunan, dan arahan, serta waktu yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Bapak Rahmadi Kurnia, Dr Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas;
3. Dosen- dosen penguji dalam tugas akhir ini yaitu Bapak Eka Putra Waldi, M.pT, Ibu Melda Latif, M.T, dan Bapak Andi Pawawoi M.T;
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu kepada penulis serta seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Elektro atas bantuan yang diberikan;
5. Seluruh rekan- rekan seperjuangan Teknik Elektro 05 yang telah memberikan bantuan, dukungan dan keceriaan kepada penulis ;
6. Seluruh keluarga besar HMTE serta semua pihak yang telah banyak membantu penulis baik langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga apa yang telah mereka berikan kepada penulis mendapat balasan kebaikan dan pahala dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Namun, penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan berguna bagi orang yang membacanya. Amin.



Padang, November 2011

Penulis

# DAFTAR ISI

Halaman

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Manfaat Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Teori Umum Petir .....	6
2.2 Tipe-tipe petir.....	9
2.3 Petir Positif.....	13
2.4 Pengukuran arus petir.....	16

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1 Umum .....	21
3.2 Prosedur Penelitian .....	21
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA.....</b>	<b>25</b>
4.1 Proses Analisa Data .....	25
4.1.1 Pengolahan Data.....	25
4.2 Hasil Analisa Data .....	27
4.2.1 Durasi Arus .....	27
4.2.2 Arus Puncak .....	29
4.2.3 Total perpindahan <i>Charge</i> .....	30
4.2.4 <i>Rise Time</i> .....	31
4.2.5 Pulsa Arus.....	32
4.3 Sistem Proteksi Petir pada Musim Dingin di Jepang.....	33
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>36</b>
5.1 Simpulan .....	36
5.2 Saran .....	37

**DAFTAR KEPUSTAKAAN**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<i>Gambar 2.1 Awan Cumulonimbus</i> .....	8
<i>Gambar 2.2 petir berdasar proses perpindahan muatan listrik</i> .....	10
<i>Gambar 2.3 (a) Downward leader</i> .....	11
<i>(b) upward leader</i> .....	11
<i>Gambar2.4 (a)Polaritas Muatan Petir positif</i> .....	12
<i>(b)Polaritas Muatan Petir negatif</i> .....	12
<i>(c)Polaritas Muatan Petir bipolar</i> .....	13
<i>Gambar2.5 petir positif</i> .....	14
<i>Gambar2.6 rogowski coil</i> .....	17
<i>Gambar2.7 Percobaan faraday menggerakkan magnet di dalam kumparan.</i>	18
<i>Gambar2.8 Arah arus induksi</i> .....	19
<i>Gambar 3.1 Skema rangkaian peralatan pengambilan data,</i>	
<i>(a) Kumparan Rogowski pada tower proteksi,</i> .....	22
<i>(b) Kumparan Rogowski pada tower turbin angin</i> .....	22
<i>Gambar 3.2 Diagram alir proses analisa data</i> .....	24

*Gambar 4.1 Grafik hasil pengukuran tanggal 25 Desember 2008.....26*

*Gambar 4.2 Grafik Durasi Arus ..... 28*

*Gambar 4.3 Grafik Arus Puncak ..... 29*

*Gambar 4.4 Grafik Total perpindahan Charge ..... 30*

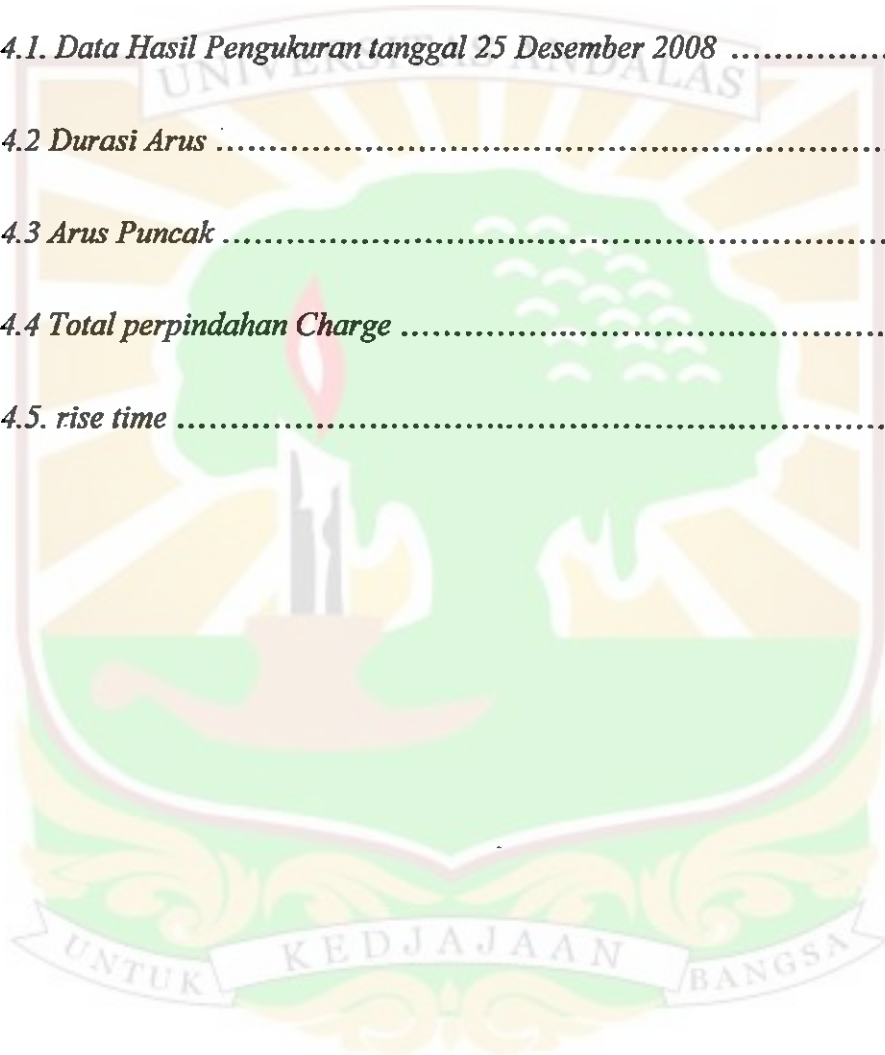
*Gambar 4.5 Grafik Rise Time ..... 31*





## DAFTAR TABEL

	Halaman
<i>Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran tanggal 25 Desember 2008</i> .....	25
<i>Tabel 4.2 Durasi Arus</i> .....	28
<i>Tabel 4.3 Arus Puncak</i> .....	29
<i>Tabel 4.4 Total perpindahan Charge</i> .....	30
<i>Tabel 4.5. rise time</i> .....	31



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Petir merupakan suatu fenomena alam yang berbahaya dan bersifat merusak. Petir yang biasa terjadi ketika hujan badai berasal dari muatan listrik yang timbul dari aliran udara di dalam awan. Perbedaan muatan listrik membangkitkan kilatan petir dalam awan, antara gumpalan awan yang satu dengan yang lain atau antara awan dengan bumi. Adakalanya petir mencapai bumi dan dapat menyebabkan beberapa kerusakan pada objek yang disambar. Seperti kebakaran, luka-luka atau menyebabkan maut kepada manusia.

Jepang merupakan suatu negara dengan intensitas angin cukup kencang. Potensi alam ini dimanfaatkan Jepang dengan membangun pembangkit listrik tenaga angin sehingga dapat mengkonversi potensi angin ini menjadi sumber listrik Jepang. Turbin angin yang di pasang dengan ketinggian sekitar 100 meter di atas permukaan tanah sering kali menjadi objek sambaran petir, sehingga menyebabkan terganggunya operasional turbin.

Untuk mengatasi hal ini diperlukan sistem proteksi petir yang baik pada turbin angin Jepang, terutama pada musim dingin di Jepang karena pada musim dingin intensitas terbentuknya petir lebih besar daripada musim lainnya.

*windmill* di kota Uchinada, *Prefektur Ishikawa*, Jepang, terjadi beberapa kali kegagalan sistem proteksi petir untuk turbin angin pada saat musim dingin. Hal ini terbukti dengan adanya beberapa kasus sambaran langsung petir pada turbin angin. Sehingga sistem proteksi petir berupa *tower* yang ada kurang memadai untuk melindungi turbin angin dari sambaran petir pada saat musim dingin. Pada pengamatan dari tahun 2006 sampai 2009 ini, sambaran petir pada turbin didapatkan berupa petir polaritas negatif, positif, dan bipolar. <sup>[1]</sup>

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis ingin memahami fenomena petir positif musim dingin dan ingin mengevaluasi standar proteksi petir yang sudah ada maka dibuatlah penelitian pada Tugas Akhir ini dengan judul “ **Karakteristik Petir Positif Pada Pada Musim Dingin di Jepang**”.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk :

- a. Memahami karakteristik petir positif pada musim dingin di Jepang.
- b. Mengevaluasi standar proteksi petir pada struktur tinggi, terutama proteksi turbin angin di Jepang pada musim dingin.

## 1.3 MANFAAT PENELITIAN

Hasil dari penelitian ini, diharapkan dapat memahami karakteristik petir positif, selain itu dapat digunakan sebagai acuan

## 1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian dilakukan terhadap petir dengan kategori petir positif pada musim dingin di Jepang.
- b. Data arus, durasi, *charge*, *rise time*, dan pulsa arus petir yang diolah dibatasi pada data hasil pengukuran pada tahun 2006 sampai 2009 dengan objek sambaran *tower* dan *windmill* di Uchinada, *Prefektur* Ishikawa, Jepang.
- c. *Tower* proteksi petir yang diteliti adalah *tower* proteksi petir untuk turbin angin dengan ketinggian sekitar 105 meter dari permukaan tanah.

## 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metode- metode yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir ini antara lain :

- a. Pengumpulan dan pengeompokan data hasil pengukuran dengan objek sambaran *tower* dan *windmill* yang terjadi pada tahun 2006 sampai 2009 di Uchinada , *Prefektur* Ishikawa, Jepang. Pengelompokan dilakukan berdasarkan objek sambaran petir, waktu kejadian sambaran petir, lama sambaran petir, dan arus petir untuk setiap satuan waktu tertentu.
- b. Analisa data pengukuran. Berdasarkan data pengukuran pada tahun 2006 sampai 2009 di Uchinada , *Prefektur* Ishikawa, Jepang. Dilakukan analisa untuk mendapatkan parameter berupa durasi

yang dicari adalah dusari arus, arus puncak, *rise time*, dan total perpindahan *chargenya*.

- c. Pengambilan kesimpulan. Tahap berikutnya yaitu mengambil kesimpulan dari hasil analisa data yang telah diperoleh.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### BAB I            **Pendahuluan**

Menjelaskan secara singkat tentang latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

### BAB II            **Tinjauan Pustaka**

Berisi tentang teori-teori mengenai petir secara umum, *upward* dan *downward leader* petir positif serta literature yang dibutuhkan untuk pembuatan tulisan ini.

### BAB III          **Metodologi Penelitian**

Berisi tentang skema dan prinsip pengukuran arus yang digunakan serta tahap- tahap penelitian.

### BAB IV          **Hasil dan Analisa**

Berisi pengolahan data hasil penelitian dan analisa terhadap hasil penelitian

**BAB V      Simpulan dan Saran**

Berisi tentang simpulan dan saran terhadap hasil penelitian yang diperoleh.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 TEORI UMUM PETIR

Peristiwa petir adalah peristiwa pelepasan muatan listrik di udara yang terjadi karena adanya perbedaan potensial yang cukup besar antara dua buah muatan yg bisa terjadi dalam satu awan, antara awan satu dengan lainnya serta awan dengan bumi.

Gejala alam ini muncul diawali kilatan cahaya sesaat yang menyilaukan yang beberapa saat kemudian disusul dengan suara menggelegar. Perbedaan waktu kemunculan ini disebabkan adanya perbedaan antara kecepatan suara dan kecepatan cahaya.

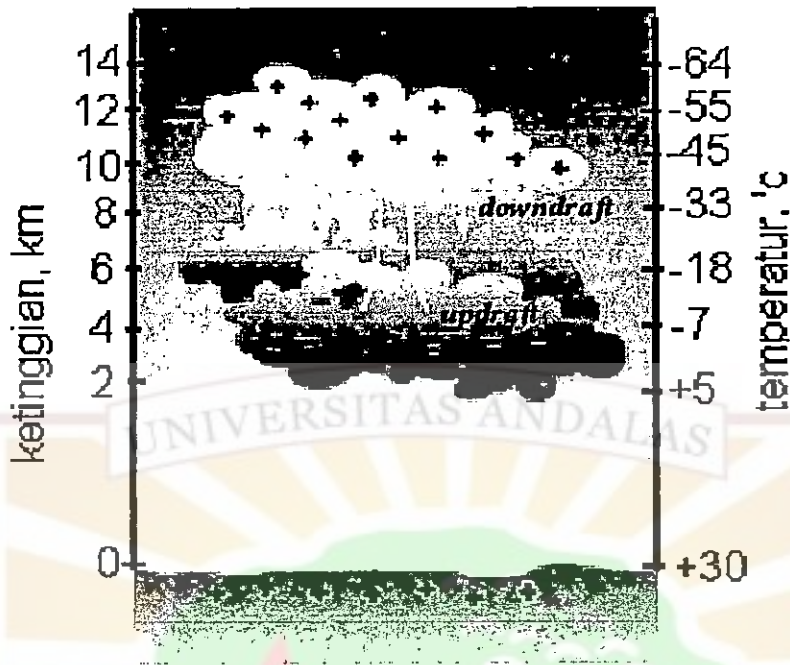
Proses terjadinya petir di dahului dengan adanya awan yang bermuatan (*Cumulonimbus*) yang dapat terbentuk jika :

1. Adanya udara yang lembab pada suatu daerah (konsentrasi air tinggi).
2. Adanya aliran udara dari permukaan bumi ke awan pada daerah tersebut.
3. Awan tersebut harus memiliki inti higroskopis yaitu berupa butiran-butiran air yang terdapat di awan.

Kelembaban terjadi karena adanya pengaruh sinar matahari yang menyebabkan terjadinya penguapan air di atas permukaan tanah (daerah laut, danau). Sedangkan pergerakan udara ke atas disebabkan oleh adanya

perbedaan tekanan akibat daerah yang terkena panas matahari bertekanan lebih tinggi atau karena pengaruh angin. Di samping itu terdapat Inti Higroskopis sebagai inti butir-butir air di awan akibat proses kondensasi. Ketiga unsur inilah yang diperlukan untuk menghasilkan awan guruh/awan *Cumulonimbus* yang bermuatan listrik dengan ukuran vertikal dapat mencapai 14 km dan ukuran horizontal berkisar 1,5 sampai 7,5 km. Pada bagian atas awan terdapat kristal es dengan temperatur mencapai  $-55^{\circ}\text{C}$  dan pada bagian bawah awan berupa air hujan dengan temperatur  $+5^{\circ}\text{C}$ . Semakin ke atas gerakan udara naik ini, semakin besar butiran es, dan karena gaya beratnya (gaya gravitasi) akan jatuh kembali ke tanah. Proses pergerakan udara dari bawah ke atas ini menyebabkan terjadinya perpisahan muatan di dalam awan. Muatan positif terkumpul dibagian atas awan dan muatan negatif dibagian bawah. Konsentrasi muatan negatif pada bagian bawah awan ini akan menyebabkan terinduksinya muatan positif di atas permukaan tanah, maka terbentuklah medan listrik antara awan dan tanah (permukaan bumi). Semakin besar muatan yang terdapat di awan, semakin besar pula medan listrik yang terjadi dan bila kuat medan tersebut telah melebihi kuat medan tembus udara ke tanah, maka akan terjadi pelepasan muatan listrik sesuai dengan hukum kelistrikan, peristiwa inilah yang disebut petir.





Gambar 2.1 Awan Cumulonimbus

Akibat dari sambaran Petir

1. Manusia

Sekitar 100 hingga 600 orang meninggal tiap tahun di Amerika Serikat akibat sambaran petir. 1.000 hingga 1500 orang mengalami luka – luka yang serius tiap tahunnya.. Hal ini berarti 25 hingga 35 % dari rata - rata tingkat kematian. Sedangkan orang – orang yang selamat, 74 % diantaranya mengalami cacat permanen. Apabila aliran listrik akibat sambaran petir mengalir melalui tubuh manusia maka organ-organ tubuh yang dilalui oleh aliran tersebut akan mengalami kejutan (*shock*). Arus tersebut dapat menyebabkan berhentinya kerja jantung. Selain itu efek rangsangan dan panas akibat arus petir pada organ-organ tubuh dapat juga melumpuhkan jaringan-jaringan / otot-otot bahkan bila energinya besar dapat menghanguskan tubuh manusia.

## 2. Bangunan

Penyebab dari kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh sambaran petir terutama adalah karena besar dari arus petir dan kecuraman arus petir, yang mana besarnya dapat mencapai 200 kA. Kerusakan tersebut dapat berupa kerusakan thermis, seperti terbakar pada bagian yang tersambar, bisa juga berupa mekanis, seperti atap runtuh, dan lain-lain. Bahan bangunan yang paling parah bila terkena sambaran petir adalah yang bersifat kering.

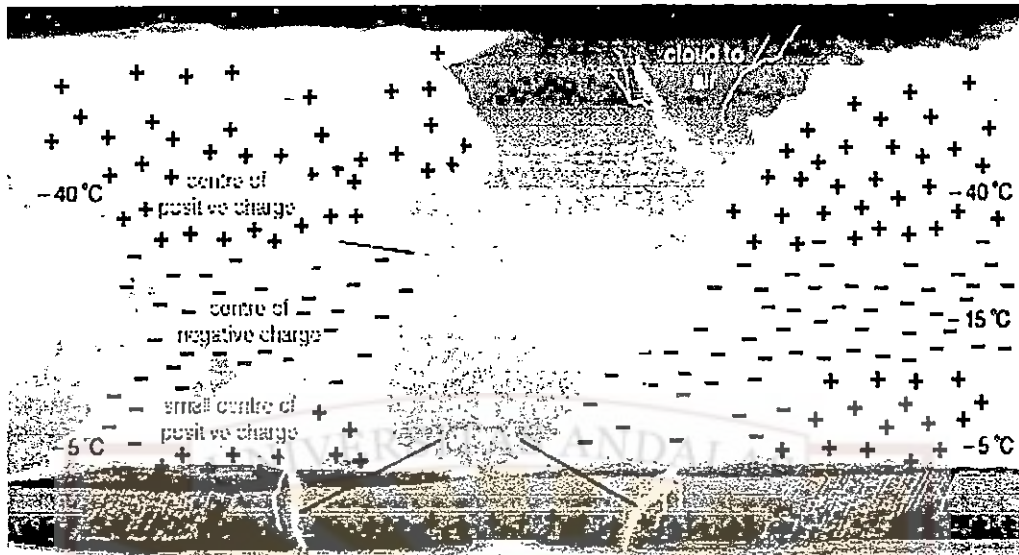
## 3. Saluran transmisi dan distribusi tenaga listrik

Akibat sambaran petir terhadap saluran transmisi dan distribusi tenaga listrik adalah rusak dan terbakarnya komponen-komponen disekitar saluran tersebut, seperti isolator penghantar udara, transformator, dan peralatan proteksi pada saluran. Sehingga operasi saluran untuk menghantarkan daya listrik ke konsumen terganggu.

## 2.2. TIPE-TIPE PETIR

Petir dapat digolongkan dalam beberapa tipe. Yaitu:

1. Berdasarkan Proses perpindahan muatan listrik dapat terjadi menjadi empat tipe :
  - a. Antara pusat muatan dalam satu awan (*within cloud*).
  - b. Antara pusat muatan pada satu awan dengan pusat muatan pada awan lain (*cloud to cloud*).
  - c. Antara pusat muatan pada awan dengan bumi (*cloud to ground*)
  - d. Antara awan ke udara (*cloud to air*)



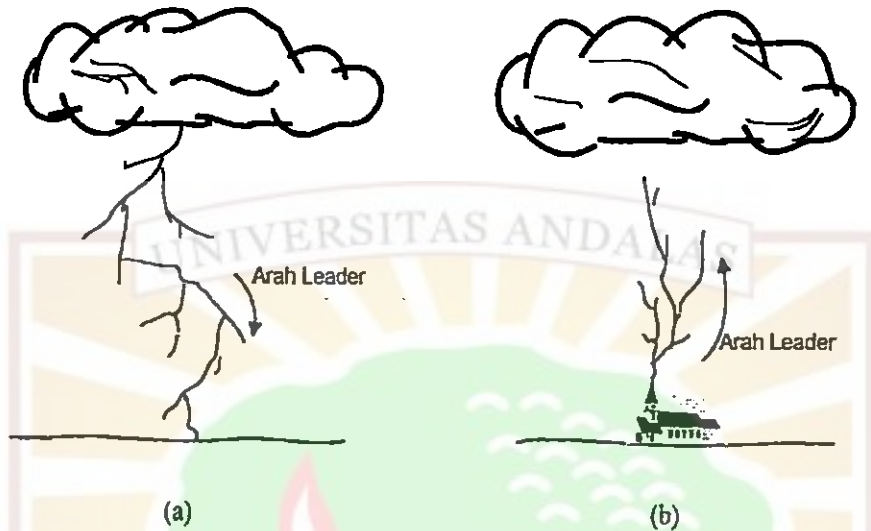
Gambar 2.2 Tipe petir berdasar proses perpindahan muatan listrik

2. Berdasarkan arah sambaran petir terdiri atas:

- a. *Upward Leader* merupakan *leader* yang mana arah aliran arusnya dari tanah ke awan atau udara. *Upward Leader* merupakan *lightning discharge* yang berasal dari objek- objek yang tinggi seperti *tower* dan *windmill*.

Ketika *stepped leader* mendekati permukaan tanah (*ground*), medan elektrik pada *ground* akan meningkat, terutama pada objek-objek yang tinggi (seperti : *windmill*, *tower*). Akibatnya, *upward connecting leader* akan berkembang pada objek tersebut. Jarak antara titik- titik dari perkembangan *connecting leader* dengan bagian ujung *downward stepped leader* dikenal dengan *striking distance*. *Striking distance* merupakan parameter penting dalam proteksi petir, dimana nilainya bergantung pada medan elektrik yang dihasilkan oleh *stepped leader*.

b. *Downward Leader* merupakan *leader* yang arah aliran arusnya dari awan atau udara ke tanah



Gambar 2.3 (a) *Downward leader* (b) *upward leader*

Perbedaan antara *leader upward* dengan *downward leader*, selain dari arah sambarannya adalah pada probabilitas kejadian dan tipikal sambarannya. *upward leader* memiliki sambaran yang cabang-cabangnya cenderung sedikit, kebalikan dari *downward leader* yang percabangan sambarannya cenderung banyak. Selain itu *upward leader* jarang terjadi, sehingga kasus ini dianggap sebagai kasus khusus<sup>[5]</sup>.

3. Berdasarkan polaritasnya adalah :

a. Petir negatif

Petir negatif terjadi apabila muatan negatif yang ada di awan terlempar keluar dari awan, pada keadaan yang bersamaan muatan positif juga terlempar dari awan lain atau bumi sehingga kedua muatan ini akan bertemu dan akan menghasilkan arus listrik yang sangat besar. Akibatnya, muatan positif akan terlempar kembali ke awan atau bumi.

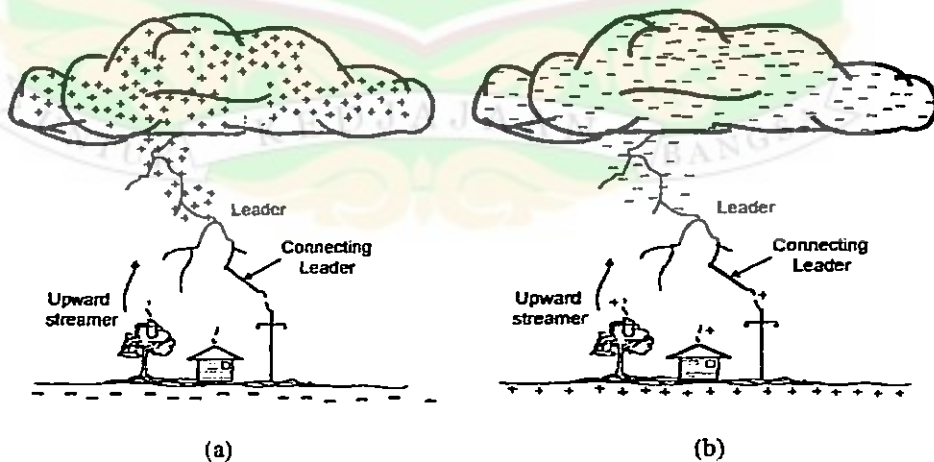
Hal inilah yang menyebabkan terjadinya petir dan biasanya hanya berlangsung dalam selang  $\frac{1}{4}$  detik.

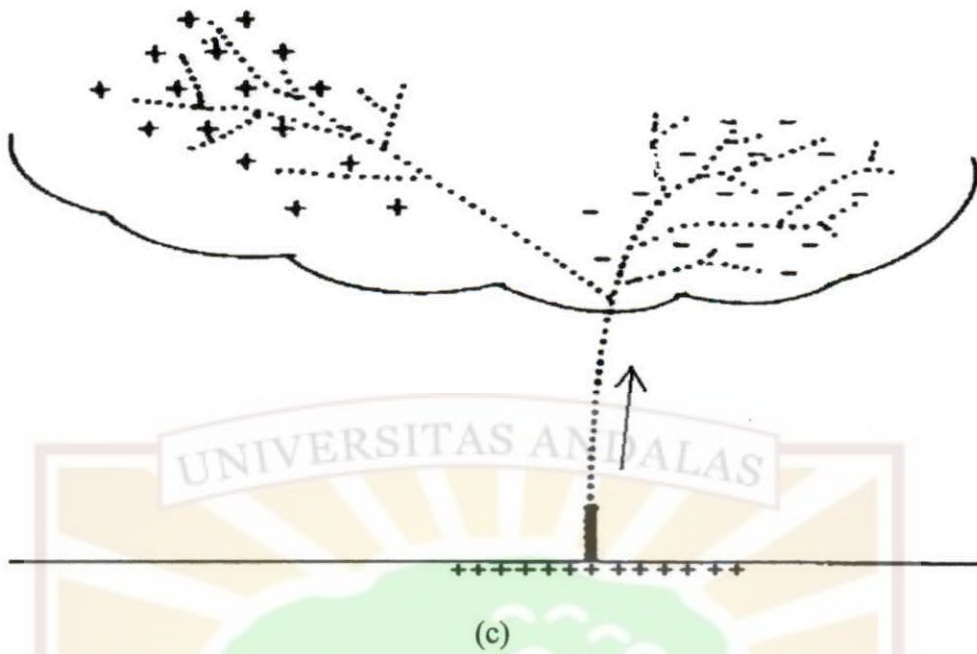
b. Petir positif

Petir positif hanya berkisar 10% dari keseluruhan petir yang terjadi. Mekanisme terjadinya yaitu muatan positif terlempar dari awan dan aliran muatan negatif mengalir dari bumi. Pertemuan keduanya akan mengakibatkan petir yang kekuatannya 6 sampai 10 kali lebih kuat dari petir negatif dengan selang waktu 10 kali lebih lama dan dapat menjangkau jarak beberapa mil dari awan.

c. Petir bipolar

Pada dasarnya, proses bipolar petir terjadi akibat terjadinya perubahan polaritas saat terjadi perpindahan *charge* selama satu kali durasi sebuah petir. Petir bipolar yang paling sering terjadi adalah petir bipolar yang polaritas arusnya berganti selama proses awal pembentukan arus petir. Sedangkan untuk proses perubahan polaritas yang sering terjadi adalah dari polaritas negatif ke positif.



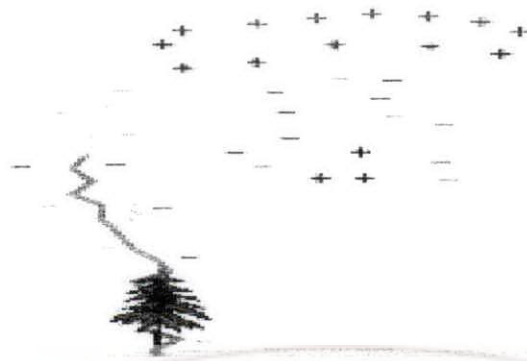


Gambar.2.4 Polaritas Muatan Petir tiap sambaran. (a) polaritas positif (b) polaritas negatif (c)polaritas bipolar

### 2.3. PETIR POSITIF

Pada umumnya, besaran arus pada petir dengan polaritas positif lebih besar di bandingkan pada petir polaritas negatif. Selain perbedaan dalam hal karakteristik besaran arus dan bentuk gelombangnya, petir polaritas positif dan polaritas negatif juga berbeda dalam persentase kemungkinan kejadiannya. Hanya sekitar 10% dari sambaran petir yang terjadi berpolaritas positif, selebihnya kebanyakan adalah petir negatif. Probabilitas kejadian petir positif akan meningkat dengan bertambahnya ketinggian suatu tempat atau objek di bumi<sup>[2]</sup>.





## UNIVERSITAS ANDALAS

*Gambar 2.5 Petir Positif*

Berdasarkan sejumlah pengukuran yang dilakukan para peneliti, petir positif mampu membawa arus listrik mendekati 300.000 ampere, memindahkan muatan hingga ratusan coulomb, dan bertahan selama puluhan atau ratusan milidetik<sup>[3]</sup>.

Pada beberapa kasus petir positif, petir positif disebut juga dengan petir kering karena kejadiannya ketika cuaca panas. Kejadian petir seperti ini berawal dari massa udara kering ketika musim panas yang langka hujan. Saat panas terik tersebut, massa udara dekat permukaan bumi semakin hangat. Massa udara itu kemudian memuai, menjadi ringan, dan terangkat ke atmosfer. Massa udara yang terangkat itu kemudian menjadi dingin seiring dengan kenaikannya ke ketinggian atmosfer. Ketika dingin, uap air di dalam udara terkondensasi menjadi butiran-butiran air atau kristal-kristal es.

Butiran-butiran es di dalam awan terus-menerus bergerak dan bergesekan sehingga membangkitkan muatan listrik statis di dalam awan. Kemudian terjadilah pelepasan muatan listrik berupa siraman partikel-partikel bermuatan positif ke permukaan bumi.

Pada saat yang sama, butiran-butiran air semakin tumbuh. Kemudian karena gravitasi, butiran-butiran air mulai jatuh sebagai hujan. Tetapi karena massa udara dekat permukaan bumi sangat panas, butiran air itu akhirnya menguap kembali dan tak pernah menyentuh tanah. Sehingga tidak terjadi hujan dan yang timbul hanyalah sambaran petir positif di siang hari<sup>[4]</sup>.

Pada beberapa negara seperti di Jepang, petir positif cenderung terjadi pada musim dingin dengan sebagian besar petir positif yang terjadi merupakan tipe petir awan dengan bumi (*cloud to ground*).

Beberapa cirri-ciri umum dari petir positif yaitu:

- Petir positif biasanya hanya berupa sambaran tunggal.
- Biasanya peluahan (*discharges*) petir positif terjadi membentuk jalur horizontal yang panjang sampai puluhan kilometer.
- Umumnya tipe petir positif yg terjadi yaitu tipe *cloud-to-ground*
- Probabilitas petir positif lebih sering muncul pada musim dingin

### ***Karakteristik petir positif***

Karakteristik petir positif dilihat dari lima parameter, yaitu :

#### **A. Durasi Arus**

Durasi arus adalah interval waktu untuk keseluruhan proses sebuah petir positif, mulai dari saat nilai arusnya nol sampai dengan nol kembali.

#### **B. Arus Puncak**

Arus puncak adalah nilai maksimum arus untuk sebuah petir positif. Arus puncak dengan satuan ampere dan merupakan amplitudo dari gelombang petir positif.



### C. Total perpindahan *Charge*

Total perpindahan *Charge* adalah hasil integrasi antara keseluruhan nilai arus terhadap seluruh durasi petir positif.

Untuk mencari nilai total perpindahan *Charge*-nya dengan mengintegalkan nilai arus terhadap waktu sehingga nilai total perpindahan *Charge* merupakan luas daerah di bawah kurva.

### D. *Rise Time*

*Rise Time* adalah waktu yang dibutuhkan oleh arus untuk berubah dari nilai rendah tertentu menuju nilai tinggi tertentu pada sebuah petir. Nilai tertentu adalah untuk yang terendah adalah 10 % dan untuk yang tertinggi 90 % dari amplitudo arus petir positif.

### E. Pulsa Arus

Pulsa arus merupakan lonjakan kecil arus yang terjadi dalam waktu singkat sekitar beberapa ratus milidetik dengan amplitudo arus sekitar seratus sampai seribu ampere. Pada pulsa juga dihitung nilai durasi pulsa arus, arus puncak pulsa, *rise time*, dan total perpindahan *Charge* pulsa.

## 2.4. PENGUKURAN ARUS PETIR

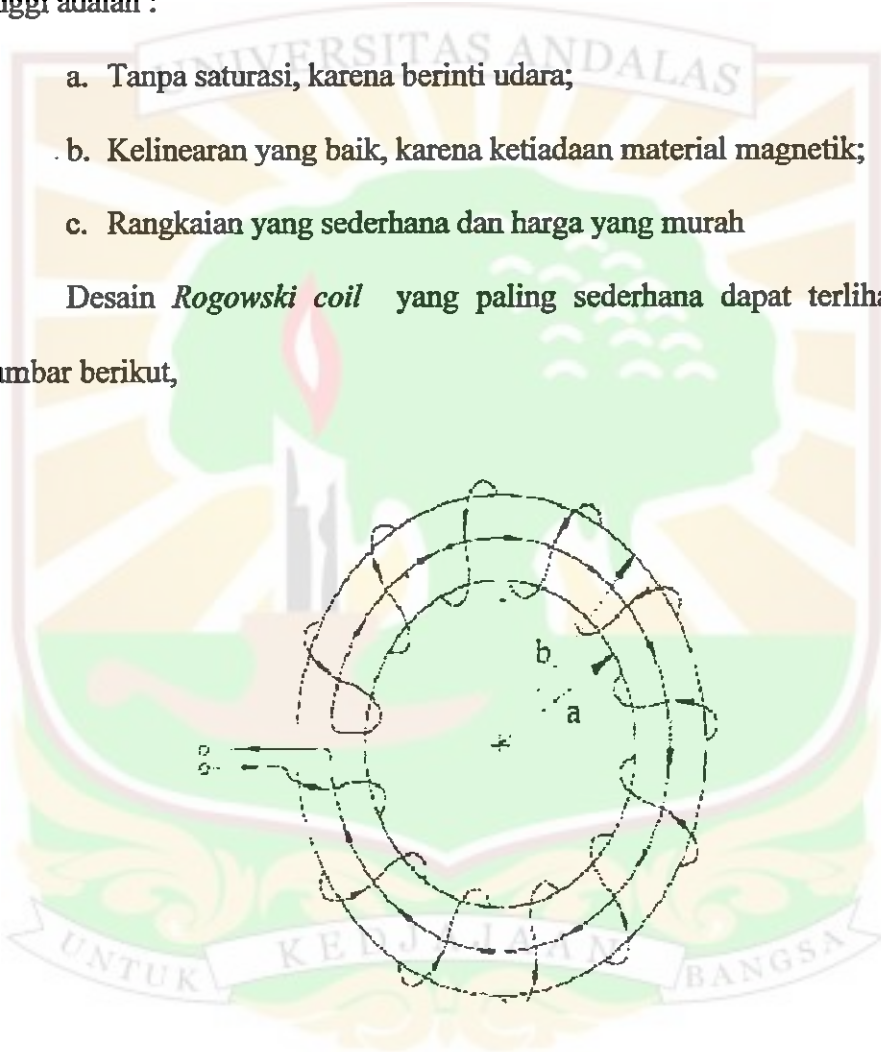
Sejak 1912 *Rogowski coil* telah digunakan untuk mendeteksi dan mengukur arus, terutama untuk arus dengan nilai yang sangat besar. Penggunaan *Rogowski coil* untuk mengukur arus dengan frekuensi tinggi memungkinkan sejak pengembangan peralatan pengukuran berfrekuensi tinggi<sup>[6]</sup>.

Sebuah *Rogowski coil* terdiri dari *toroidal solenoid* yang mengelilingi konduktor dimana arus ingin diukur. Koil dikopling secara magnetik pada konduktor, sehingga *emf* proporsional terhadap variasi waktu dari arus dapat terinduksi.

Keunggulan dari *Rogowski coil* untuk mengukur arus berfrekuensi tinggi adalah :

- a. Tanpa saturasi, karena berinti udara;
- b. Kelinearan yang baik, karena ketiadaan material magnetik;
- c. Rangkaian yang sederhana dan harga yang murah

Desain *Rogowski coil* yang paling sederhana dapat terlihat pada gambar berikut,



*Gambar 2.6 Rogowski coil*

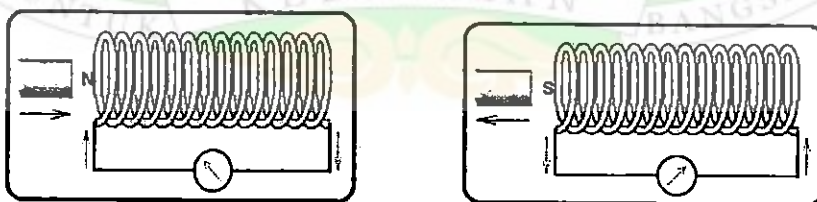
*Rogowski coil* adalah transformator arus dan dapat dianggap sebagai contoh dari Hukum Ampere dan Faraday , yang berbunyi *integral garis dari*

*medan magnetik H disekitar sebuah garis edar tertutup tunggal adalah sama dengan arus tertutup.*

Seorang ilmuwan dari Jerman yang bernama Michael Faraday (1791 – 1867) memiliki gagasan tentang medan magnet menghasilkan arus listrik. Gagasan ini didasarkan oleh adanya penemuan dari Oersted bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet. Karena termotivasi oleh gagasan tersebut kemudian pada tahun 1822, Faraday memulai melakukan percobaan-percobaan. Pada tahun 1831 Faraday berhasil membangkitkan arus listrik dengan menggunakan medan magnet<sup>[7]</sup>.

Konsep garis gaya magnet Faraday dapat dijelaskan seperti berikut ini:

1. Magnet didekatkan pada kumparan maka gaya yang melingkupi kumparan menjadi bertambah banyak, sehingga pada kedua ujung kumparan timbul gaya gerak listrik (GGL).
2. Magnet dijauhkan terhadap kumparan maka garis gaya yang melingkupi kumparan menjadi berkurang, kedua ujung kumparan juga timbul GGL.
3. Magnet diam terhadap kumparan, jumlah garis gaya magnet yang melingkupi kumparan tetap, sehingga tidak ada GGL.

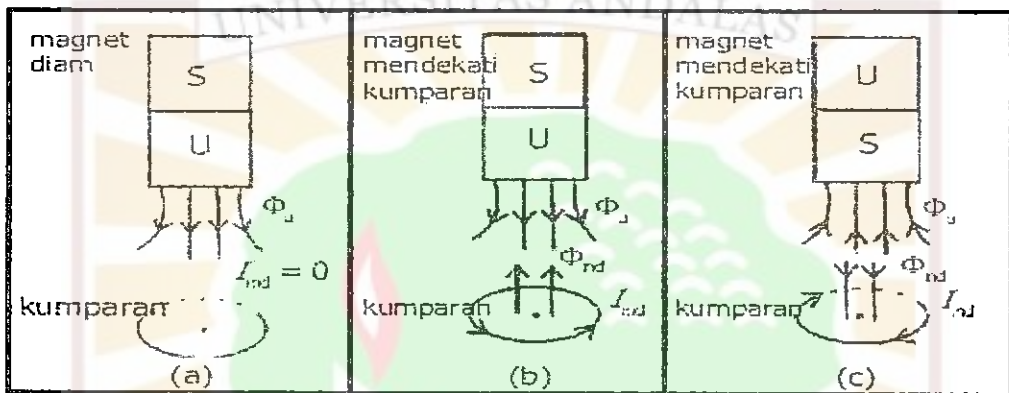


*Gambar 2.7 Percobaan faraday menggerakkan magnet di dalam kumparan*

Gaya gerak listrik yang timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet atau perubahan fluks magnetik dirumuskan dengan :

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Sedangkan arus yang mengalir dinamakan arus induksi dan peristiwanya disebut induksi elektromagnetik.



Gambar 2.8 Arah arus induksi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi yaitu:

1. Kecepatan perubahan medan magnet

Semakin cepat perubahan medan magnet, maka GGL induksi yang timbul semakin besar.

2. Banyaknya lilitan

Semakin banyak lilitannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

### 3. Kekuatan magnet

Semakin kuat gejala kemagnetannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.

Secara matematika persamaan *Rogowski coil* dapat dinyatakan dengan:

$$i = \oint \vec{H} \cos \alpha \cdot d\vec{l} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

I : arus tertutup

H : medan magnetik

dl : elemen sangat kecil dari panjang garis edar

$\alpha$  : sudut antara arah medan H dengan sumbu dari coil

Apabila rogowski coil memiliki banyak lilitan sebesar *n/meter* dan dengan luas penampang sebesar A yang melingkupi konduktor yang dialiri arus *i*, maka pada bagian *dl* dari panjang keseluruhan coil dapat dinyatakan fluks magnetic yang melingkupinya sebagai berikut :

$$d\phi = \mu_0 H A n dl \cos \alpha \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk keseluruhan coil diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan (2.4)

$$\phi = \int d\phi = \mu_0 n A \int H \cos \alpha dl = \mu_0 n A i \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk arus bolak – balik , tegangan keluaran dari coil berdasarkan perubahan dari fluks

$$V_{coil} = -\frac{d\phi}{dt} = -\mu_0 n A \frac{di}{dt} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 UMUM

Bab ini menjelaskan tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian . Mencakup alat bantu penelitian dan prosedur penelitian.

#### 3.2 PROSEDUR PENELITIAN

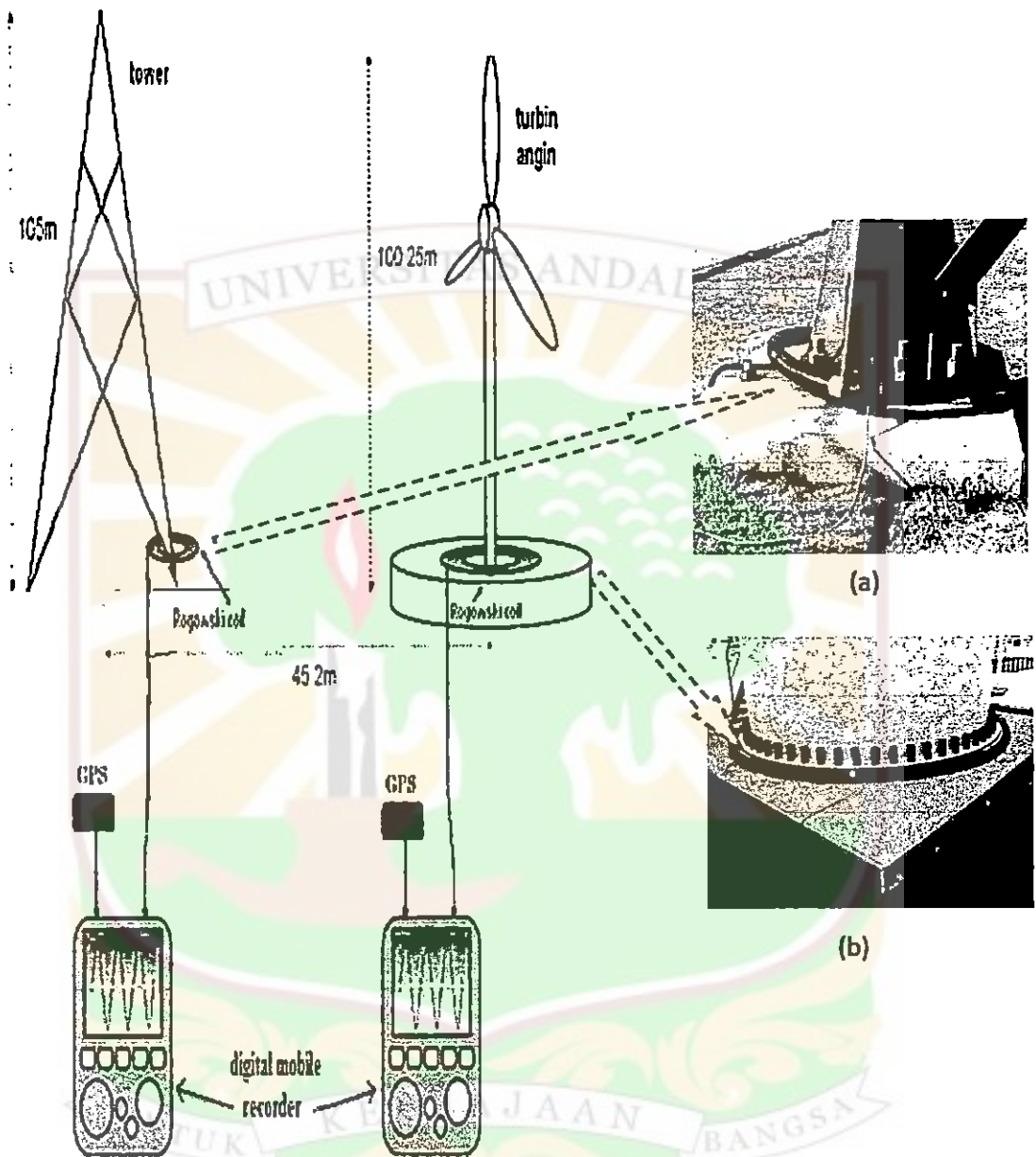
##### 1. Studi literatur

Langkah pertama dalam pengerjaan Tugas Akhir adalah mencari referensi sebanyak mungkin yang bersesuaian dengan Tugas Akhir, baik itu berupa makalah penelitian, buku acuan, maupun bahan-bahan yang didapatkan dari internet.

##### 2. Pengumpulan data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari hasil penelitian disertasi doctoral oleh Ariadi Hazmi. Pengumpulan data-data yang berkaitan yaitu Pengumpulan data hasil pengukuran dengan target sambaran *tower* dan *windmill* yang terjadi pada tahun 2006 sampai 2009 di Uchinada , *Prefektur Ishikawa*, Jepang. Datanya berupa objek kejadian sambaran petir, waktu kejadian sambaran petir, lama sambaran petir, dan arus petir untuk setiap satuan waktu tertentu.

## Skema peralatan pengambilan data



*Gambar 3.1. Skema rangkaian peralatan pengambilan data (a) Kumparan Rogowski pada tower proteksi (b) Kumparan Rogowski pada tower turbin angin*

Pengukuran arus menggunakan *Rogowski coil* yang dipasang pada dasar *tower* dengan tinggi sekitar 105 meter dan turbin sekitar 100 meter.

*Rogowski coil* ini dihubungkan dengan *digital mobile recorder*. Sehingga jika terjadi sambaran petir baik pada *tower* maupun turbin akan terekam pada *digital mobile recorder*. Data hasil pengukuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak OriginPro guna memudahkan dalam proses pengolahannya.

## 2. Pengelompokan dan pengolahan data pengukuran.

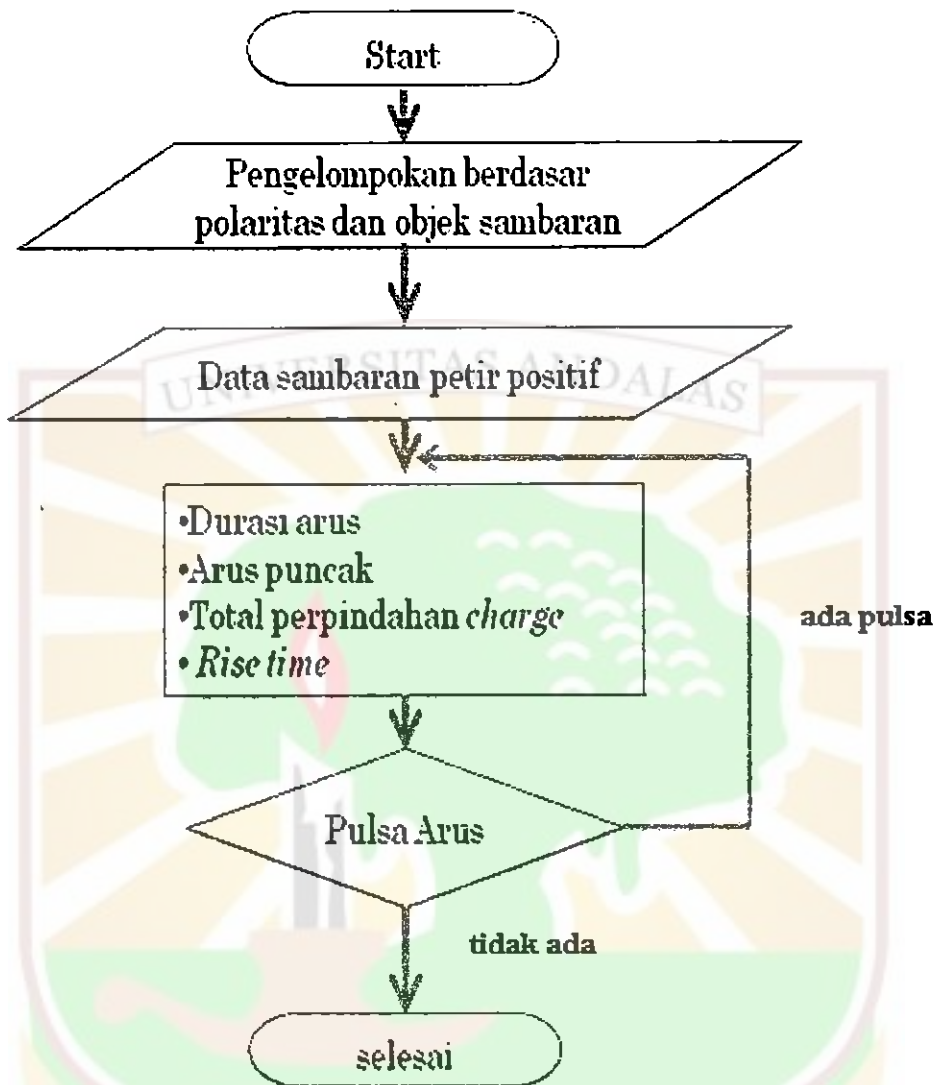
Berdasarkan data pengukuran pada tahun 2006 sampai 2009 di Uchinada , *Prefektur Ishikawa*, Jepang, dilakukan pengelompokan berupa objek kejadian sambaran petir, waktu kejadian sambaran petir, lama sambaran petir, dan arus petir untuk setiap satuan waktu tertentu, serta pengolahan data berdasarkan jenis polaritas petir dan objek kejadian (pada *tower* proteksi atau pada turbin angin )

## 3. Analisa data

Analisa yang dilakukan berdasarkan hasil data yang telah dikelompokkan. Analisa dilakukan guna untuk mendapatkan parameter – parameter berupa durasi arus, arus puncak, total perpindahan *charge*, *rise time*, dan pulsa arus. Untuk pulsa arus yang dicari adalah arus, arus puncak, *rise time*, dan total perpindahan *chargenya*. Analisa data ini merupakan analisa manual menggunakan bantuan *Origin*.



Berikut *flow chart* dari pengerjaan tugas akhir ini :



Gambar 3.2. Diagram alir proses analisa data

#### 4. Pengambilan kesimpulan

Pengambilan kesimpulan dari hasil analisa data yang diperoleh.

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISA

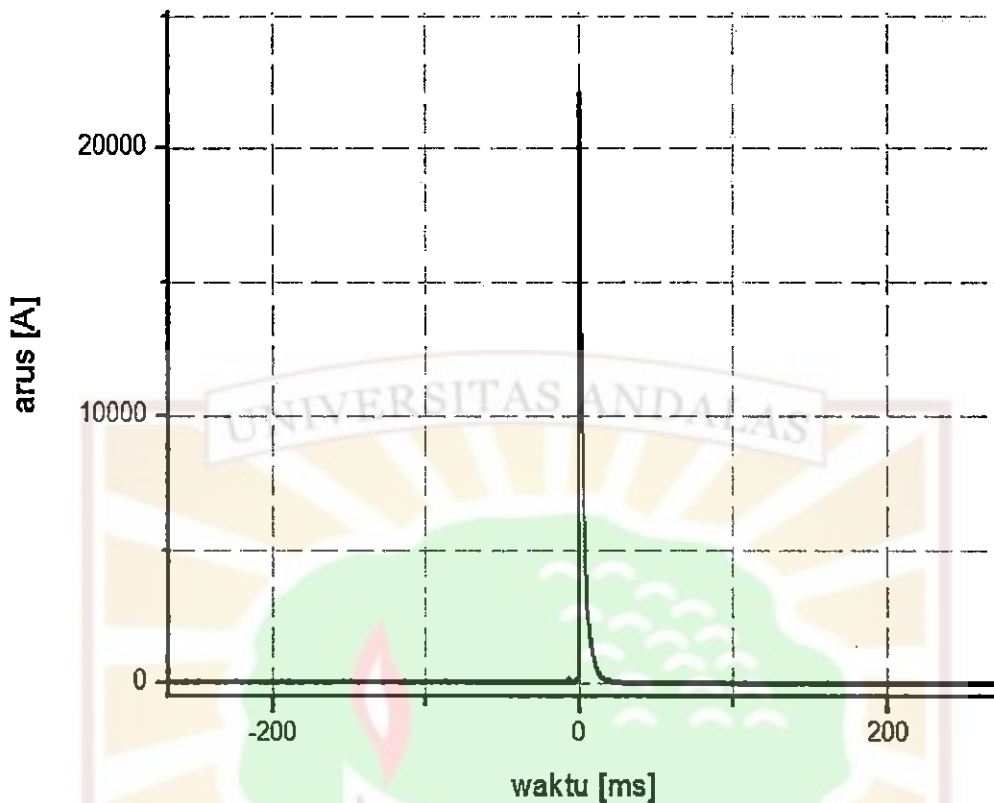
#### 4.1 Proses Analisa Data

Bab ini membahas mengenai hasil yang yang didapatkan dari penelitian yaitu karakteristik dari petir positif musim dingin di Jepang berupa durasi arus, arus puncak, total perpindahan *charge*, *rise time*, dan pulsa – pulsa yang terdapat pada petir tersebut.

##### 4.1.1 Pengolahan Data

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran tanggal 25 Desember 2008<sup>[1]</sup>

	Waktu (dengan rentang 0,005 ms)	Arus (kA)
199929	499,645	20,37497
199930	499,65	20,46777
199931	499,655	20,46777
199932	499,66	20,61624
199933	499,665	20,61624
199934	499,67	20,69048
199935	499,675	20,61624
199936	499,68	20,69048
199937	499,685	20,542
199938	499,69	20,61624
199939	499,695	20,83895
199940	499,7	20,91319
199941	499,705	21,09878
199942	499,71	20,91319
199943	499,715	20,98742
199944	499,72	20,98742
199945	499,725	21,17302
199946	499,73	21,39573
199947	499,735	21,39573
199948	499,74	21,5442
199949	499,745	21,61844
199950	499,75	21,91538
199951	499,755	21,93283
199952	499,76	21,95063
199953	499,765	21,96879
199954	499,77	21,94867
199955	499,775	21,96719
199956	499,78	21,9861
199957	499,785	22,00542
199958	499,79	22,10576



Gambar 4.1 . Grafik hasil pengukuran tanggal 25 Desember 2008

Ini merupakan salah satu data sambaran petir yang didapatkan menggunakan alat ukur belitan *Rogowski* yang dilakukan oleh Ariadi Azmi dari tahun 2006 sampai 2009 dengan objek sambaran berupa *tower* dan *windmill* di kota Uchinada, *Prefektur Ishikawa*, Jepang. yang mana sambaran ini terjadi pada tanggal 25 Desember 2008 pukul 14 lewat 11 menit yang menyambar *tower* di salah satu pembangkit listrik tenaga angin di Uchinada, *Prefektur Ishikawa*, Jepang.

Data hasil pengukuran tersebut kemudian diolah menggunakan analisa manual dengan bantuan *OriginPro* guna memudahkan dalam proses penganalisaannya.

Adapun yang diukur dan dicatat pada data tersebut adalah<sup>[1]</sup> :

- i. objek sambaran petir
- ii. waktu saat kejadian petir
- iii. lama waktu petir berlangsung
- iv. besar arus petir

Pada sambaran langsung terhadap turbin angin tanggal tanggal 25 Desember 2008 ini tercatat dengan jumlah rentangan satuan waktunya sebanyak 200.000 kali dengan rentang jarak untuk tiap rentangan waktunya 0,005 milidetik. Untuk grafik sumbu  $-x$  nya adalah waktu dengan satuan milidetik (ms) dan sumbu  $-y$  nya adalah arus dengan satuan kiloamper (kA).

## 4.2 Hasil Analisa Data

### *Karakteristik Petir Positif Musim Dingin Di Jepang*

Berdasarkan data pengukuran Ariadi Azmi dari tanggal 3 Januari 2006 sampai dengan 2009 dengan objek sambaran *tower* dan *windmill* di Uchinada, *Prefektur Ishikawa*, Jepang didapatkan hasil sebagai berikut :

- a. Terdapat 4 kali kejadian sambaran petir yang berpolaritas positif.
- b. Sambaran terjadi pada kedua objek, dimana pada *tower* terjadi dua kali dan pada turbin angin atau *windmill* terjadi dua kali.

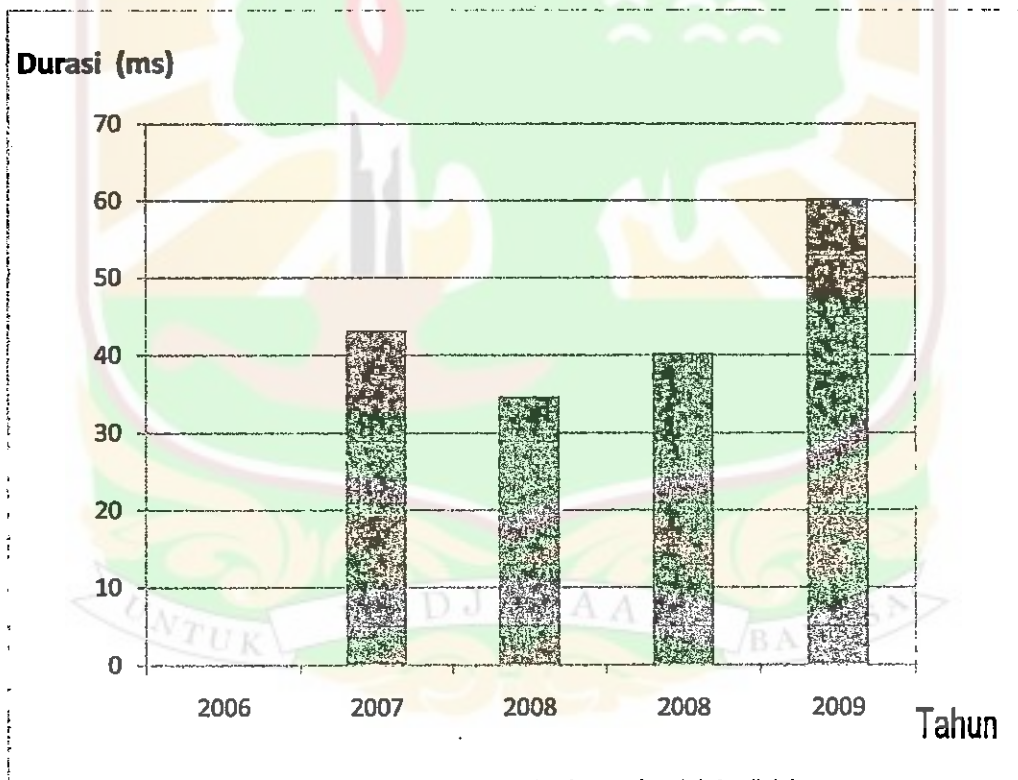
#### 4.2.1 Durasi Arus

Lama sambaran atau durasi arus petir positif musim dingin ini cukup bervariasi . Nilai yang didapat dari yang tersingkat 34,67 milidetik terjadi pada pukul 14:11 tanggal 25 Desember 2008 merupakan petir positif

yang menyambar *tower* proteksi, sedangkan yang terlama terjadi pada pukul 05:57 tanggal 12 Januari 2009 dengan durasi 60,29 milidetik, dan petir positif yang menyambar turbin angin .Terlihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Durasi Arus

No	Waktu Kejadian	Objek Sambaram	Durasi (ms)
1	06/01/2007-1851 upward	turbin	43,212
2	25/12/2008-1411 downward	tower	34,67
3	25/12/2008-1420 downward	tower	40,24
4	12/01/2009-0557 upward	turbin	60,29



Gambar 4.2 Grafik Durasi Arus

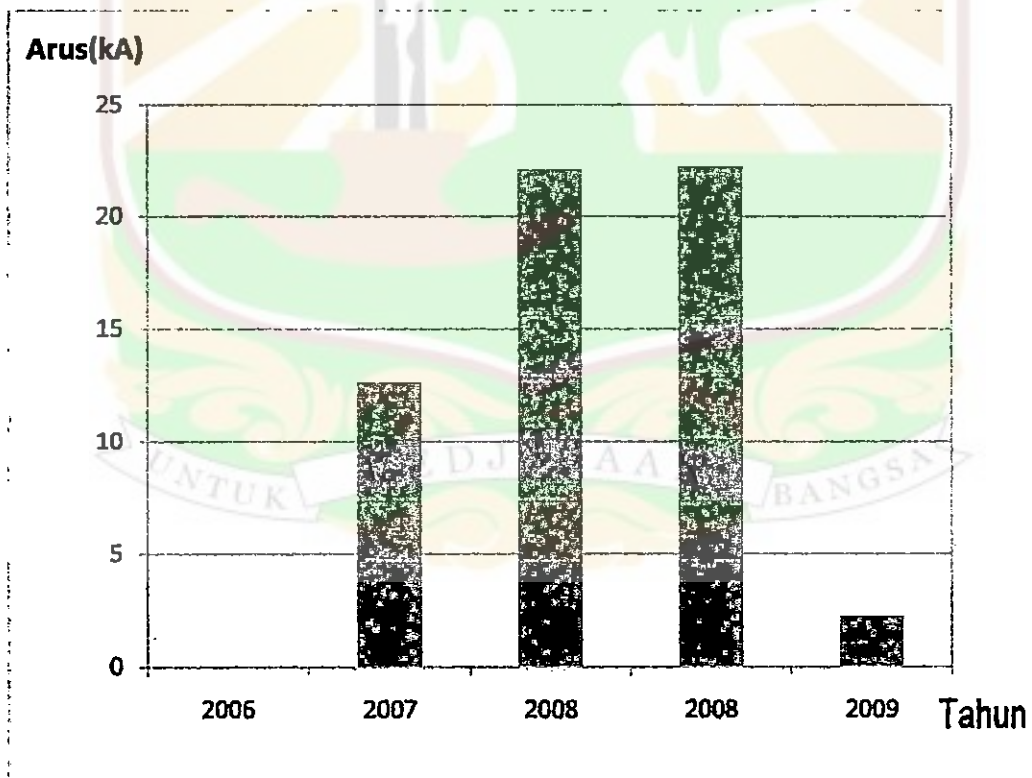
Jadi, diambil kesimpulan lamanya proses sambaran atau durasi arus petir positif musim dingin berkisar 34,67 – 60,29 milidetik.

#### 4.2.2 Arus Puncak

Arus puncak petir positif musim dingin di Jepang pada tahun 2006 samapai 2009 memiliki nilai terendah 2,237 kA terjadi pada pukul 05:57 tanggal 12 Januari 2009 dan menyambar *turbin* sedangkan nilai tertinggi arus puncak petir positif terjadi pada pukul 14:20 tanggal 25 Desember 2008 dan menyambar *tower* senilai 22,228 kA. Seperti pada tabel 4.3 dan gambar 4.3 di bawah.

Tabel 4.3. Arus Puncak

No	Waktu Kejadian	Objek Sambaram	Arus Puncak (kA)
1	06/01/2007-1851 upward	turbin	12,658
2	25/12/2008-1411 downward	tower	22,124
3	25/12/2008-1420 downward	tower	22,228
4	12/01/2009-0557 upward	turbin	2,237



Gambar 4.3 Grafik Arus Puncak

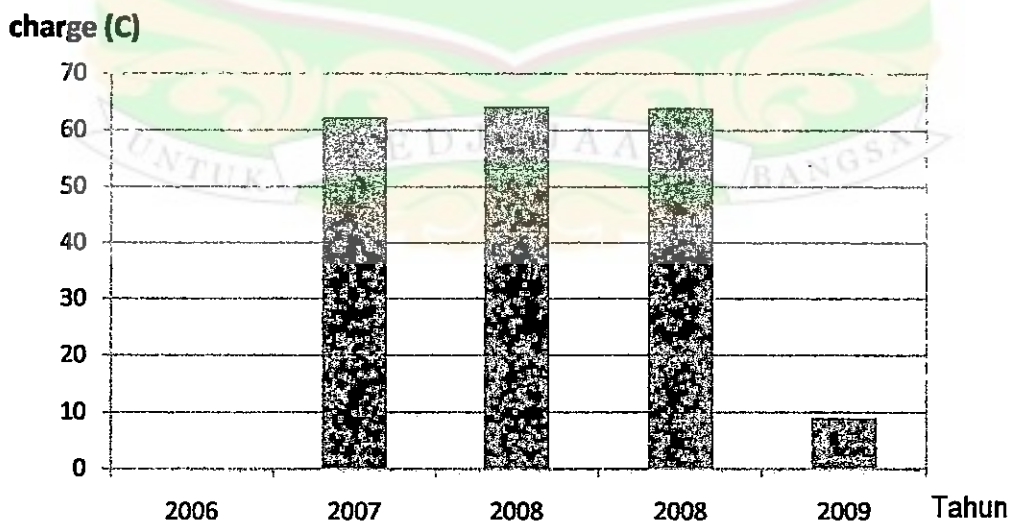
Jadi, diambil kesimpulan besar arus puncak petir positif pada musim dingin Jepang berkisar 2,237 – 22,228 kiloamper.

#### 4.2.3 Total perpindahan Charge

Untuk total perpindahan Charge petir positif pada musim dingin tahun 2006 sampai 2009 di Jepang memiliki nilai terendah 8,968 coulomb terjadi pada pukul 05:57 tanggal 12 Januari 2009 dan menyambar *turbin* sedangkan nilai tertinggi total perpindahan Charge terjadi pada pukul 14:11 tanggal 25 Desember 2008 dan menyambar *tower* senilai 64,158 coulomb. hasil ini seperti terlihat pada tabel 4.4 dan gambar 4.4 di bawah.

Tabel 4.4 Total perpindahan Charge

No	Waktu Kejadian	Objek Sambaram	Charge Total (C)
1	06/01/2007-1851 upward	turbin	62,285
2	25/12/2008-1411 downward	tower	64,158
3	25/12/2008-1420 downward	tower	63,947
4	12/01/2009-0557 upward	turbin	8,968



Gambar 4.4 Grafik Total perpindahan Charge

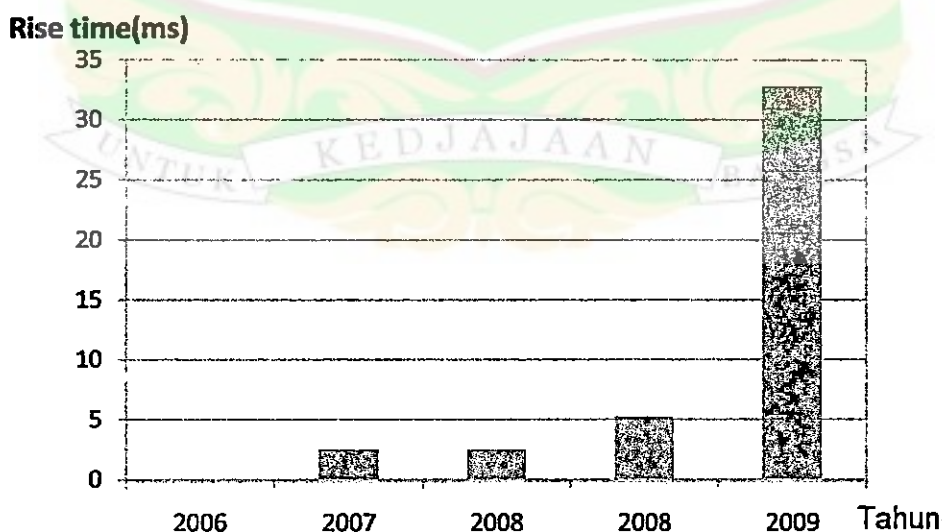
Jadi, kesimpulannya kisaran total perpindahan *Charge* pada petir positif pada musim dingin di Jepang memiliki nilai berkisar 8,968 – 64,158 coulomb.

#### 4.2.4 Rise Time

Untuk nilai *rise time* petir positif pada musim dingin di Jepang tahun 2006 sampai 2009 didapatkan nilai *rise time* terendah selama 2,492 milidetik terjadi pada pukul 14:11 tanggal 25 Desember 2008 dan menyambar *tower*. Sedangkan nilai tertinggi terjadi pada pukul 05:57 tanggal 12 Januari 2009 dan menyambar *turbin* selama 32,807 milidetik. Seperti pada tabel 4.4 dan gambar 4.5 di bawah.

Tabel 4.5. rise time

No	Waktu Kejadian	Objek Sambaram	Rise Time (ms)
1	06/01/2007-1851 upward	turbin	2,5065
2	25/12/2008-1411 downward	tower	2,492
3	25/12/2008-1420 downward	tower	5,232
4	12/01/2009-0557 upward	turbin	32,8072



Gambar 4.5 Grafik Rise Time



Jadi, disimpulkan kisaran lama waktu *rise time* untuk petir positif pada musim dingin di Jepang adalah 2,492 – 32,807 milidetik.

#### 4.2.5 Pulsa Arus

Berdasarkan hasil analisa data, pada petir positif musim dingin di Jepang pada tahun 2006 sampai 2009 hanya memiliki satu pulsa arus yang terdapat pada petir positif yang terjadi pada pukul 14:20 tanggal 25 Desember 2008 dan menyambar *tower*. Berikut perincian karakteristik pulsa arus yang terjadi pada tanggal 25 Desember 2008.

##### a. Durasi Pulsa Arus

Pulsa arus yang terdapat pada petir positif yang terjadi pada pukul 14:20 tanggal 25 Desember 2008 dan menyambar *tower* ini mempunyai durasi selama 0,2549 milidetik.

Jadi, kisaran durasi pulsa arus petir positif pada musim dingin di Jepang senilai 0,2549 milidetik.

##### b. Arus Puncak Pulsa

Pulsa arus yang terdapat pada petir positif yang terjadi pada pukul 14:20 tanggal 25 Desember 2008 dan menyambar *tower* ini mempunyai arus puncak pulsa dengan nilai 2,4335 kA.

Jadi, kisaran arus puncak pulsa arus petir positif pada musim dingin di Jepang senilai 2,4335 kA.

c. Total Perpindahan *Charge* Pulsa

Pulsa arus yang terdapat pada petir positif yang terjadi pada pukul 14:20 tanggal 25 Desember 2008 dan menyambar *tower* ini mempunyai total perpindahan *charge* pulsa dengan nilai 74,114  $\mu\text{C}$ .

Jadi, kisaran total perpindahan *charge* pulsa arus petir positif pada musim dingin di Jepang senilai 74,114  $\mu\text{C}$ .

d. *Rise Time* Pulsa

Pulsa arus yang terdapat pada petir positif yang terjadi pada pukul 14:20 tanggal 25 Desember 2008 dan menyambar *tower* ini mempunyai *rise time* pulsa dengan nilai 0,092 milidetik

Jadi, kisaran *rise time* pulsa arus petir positif pada musim dingin di Jepang senilai 0,092 milidetik.

### 4.3 Sistem Proteksi Petir pada Musim Dingin di Jepang

Berdasarkan kejadian petir positif berdasarkan data pengukuran Ariadi Azmi dari tanggal 3 Januari 2006 sampai dengan 2009 dengan objek sambaran *tower* dan *windmill*, terjadi 2 kali kegagalan sistim proteksi berupa *tower* untuk mengamankan area PLTB di Uchinada, *Prefektur* Ishikawa, Jepang sehingga menyebabkan terjadinya sambaran langsung petir positif pada turbin angin.

Disamping itu juga jika melihat data secara keseluruhan baik untuk petir berpolaritas positif, negatif, dan bipolar terjadi 11 kali sambaran

langsung petir terhadap turbin angin pada PLTB di Uchinada, *Prefektur* Ishikawa, Jepang.

Berdasarkan banyaknya kejadian sambaran pada turbin angin, bisa disimpulkan bahwa sistim proteksi berupa *tower* untuk mengamanan PLTB dari kejadian petir khususnya untuk femomena petir pada musim dingin dinyatakan gagal atau kurang berhasil.

Kegagalan sistim proteksi ini menyebabkan kerusakan pada dua hal yaitu :

- a) Baling – baling turbin angin
- b) Peralatan tenaga, distribusi, dan sistim kendali di dalam tower angin

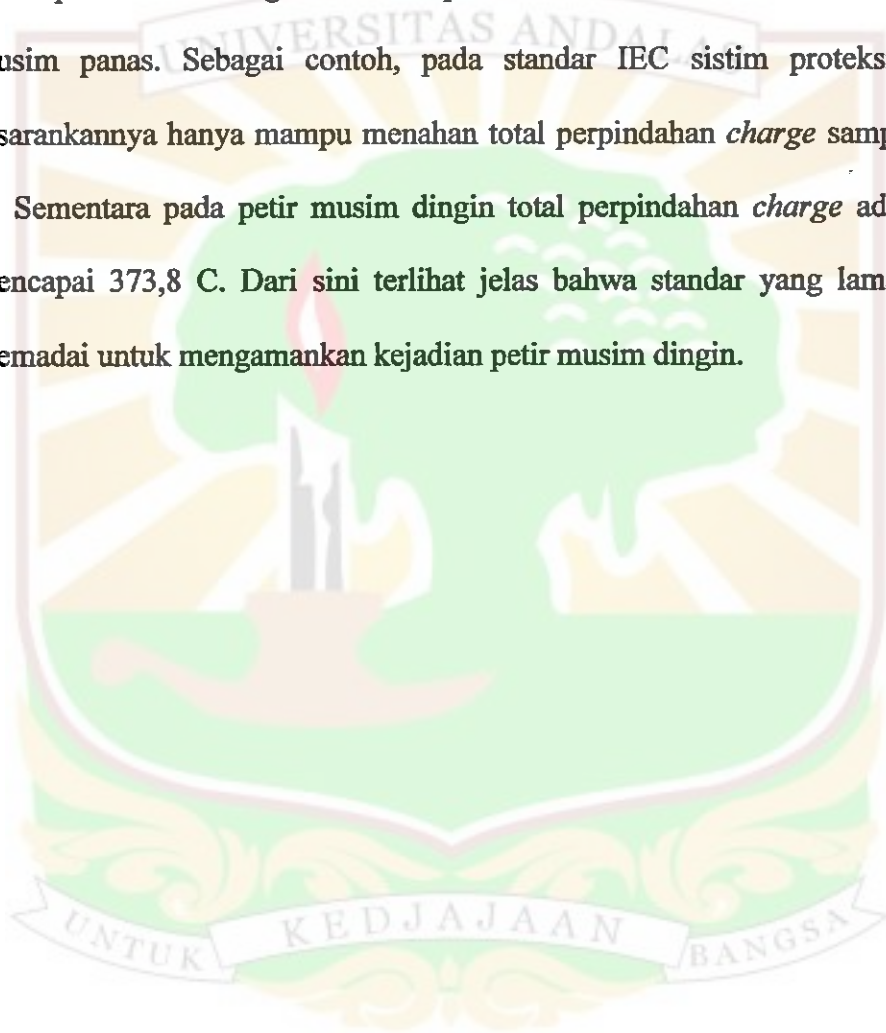
#### **Penyebab Terjadinya Kegagalan :**

Jika dilihat dari karakteristiknya, petir pada musim dingin di Jepang memiliki besar perpindahan energi lebih besar dari pada petir musim panas. Hal ini disebabkan pada petir musim dingin total perpindahan *charge* yang lebih tinggi dibandingkan petir musim panas. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada sistim generator turbin angin sehingga dapat menyebabkan berhenti totalnya sebuah turbin angin.

Di samping itu berikut karakteristik dari petir musim dingin :

- A. Petir musim dingin memiliki durasi petir yang lebih lama dibandingkan petir musim panas, yaitu mencapai 399,25 milidetik (petir bipolar).
- B. Total perpindahan *charge* pada petir musim dingin sangat tinggi mencapai 373,8 C (petir bipolar).

Pembandingan antara petir musim panas dengan musim dingin di atas dikarenakan sistim proteksi petir berupa *tower* yang dibuat sebelumnya berstandar pada IEC (IEC TR 61400-24, Wind Turbine Generator System-Part24: Lightning protection for wind turbine, 2002) dibuat dengan menggunakan hasil studi dan karakteristik dari petir musim panas. Sementara untuk petir musim dingin memiliki perbedaan karaktesitik mendasar dengan musim panas. Sebagai contoh, pada standar IEC sistim proteksi yang disarankannya hanya mampu menahan total perpindahan *charge* sampai 300 C. Sementara pada petir musim dingin total perpindahan *charge* ada yang mencapai 373,8 C. Dari sini terlihat jelas bahwa standar yang lama tidak memadai untuk mengamankan kejadian petir musim dingin.



## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 SIMPULAN

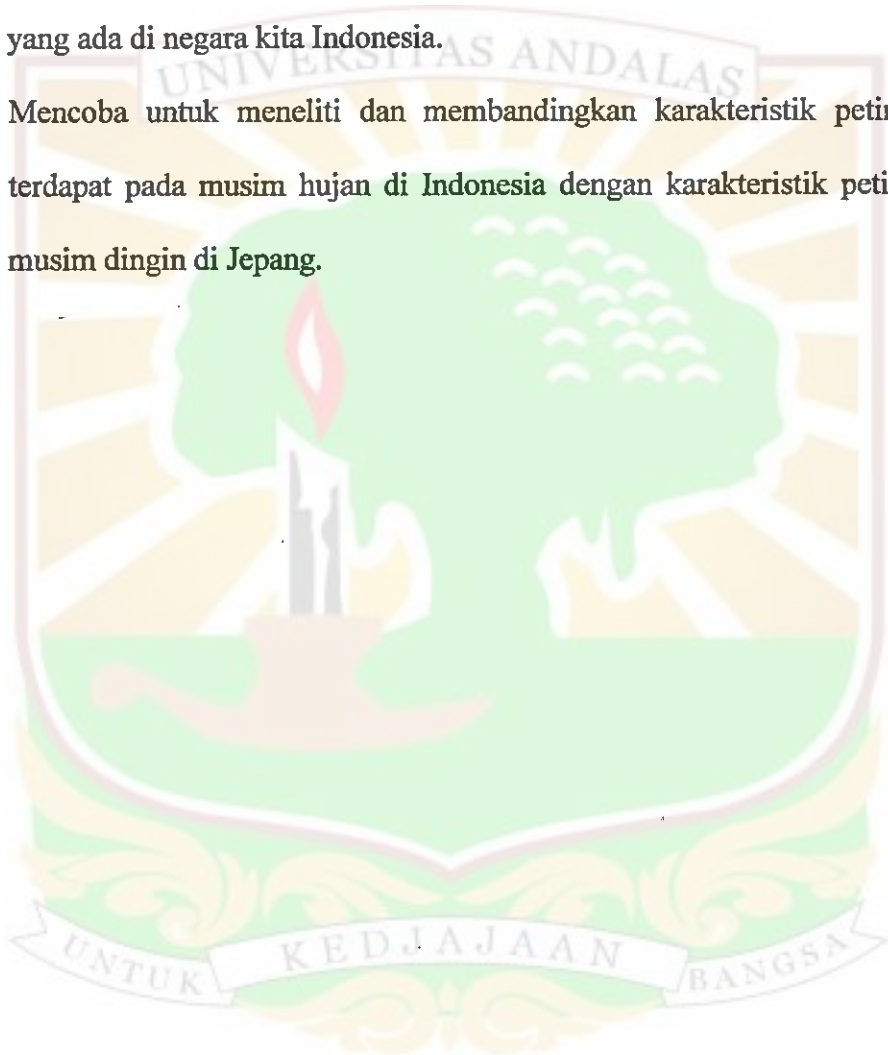
Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, didapatkan simpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik petir positif musim dingin yang didapatkan dapat diuraikan seperti berikut ini:
  - a. Karakteristik durasi arus petir positif musim dingin berkisar 34,67 – 60,29 milidetik
  - b. Karakteristik arus puncak petir positif pada musim dingin Jepang berkisar 2,237 – 22,228 kA
  - c. Karakteristik total perpindahan *Charge* pada petir positif pada musim dingin di Jepang memiliki nilai berkisar 8,968 – 64,158 coulomb.
  - d. Karakteristik *rise time* untuk petir positif pada musim dingin di Jepang adalah 2,492 – 32,807 milidetik
  - e. Karakteristik pulsa petir positif pada musim dingin di Jepang yaitu durasi arus pulsa 0,2549 milidetik, arus puncak pulsa 2,4335 kA, total charge pulsa 74,114  $\mu\text{C}$ , dan *rise time* pulsa 0,092 milidetik
2. Sistem proteksi petir terutama pada petir positif kurang berhasil. Hal ini disebabkan karena terjadinya dua kali sambaran langsung petir positif dari total 11 kali sambaran langsung petir terhadap *turbin*.

## 5.2 SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, penulis menyarankan agar dalam penelitian selanjutnya :

- a. Mencoba untuk meneliti dan mempelajari karakteristik dari petir – petir yang ada di negara kita Indonesia.
- b. Mencoba untuk meneliti dan membandingkan karakteristik petir yang terdapat pada musim hujan di Indonesia dengan karakteristik petir pada musim dingin di Jepang.



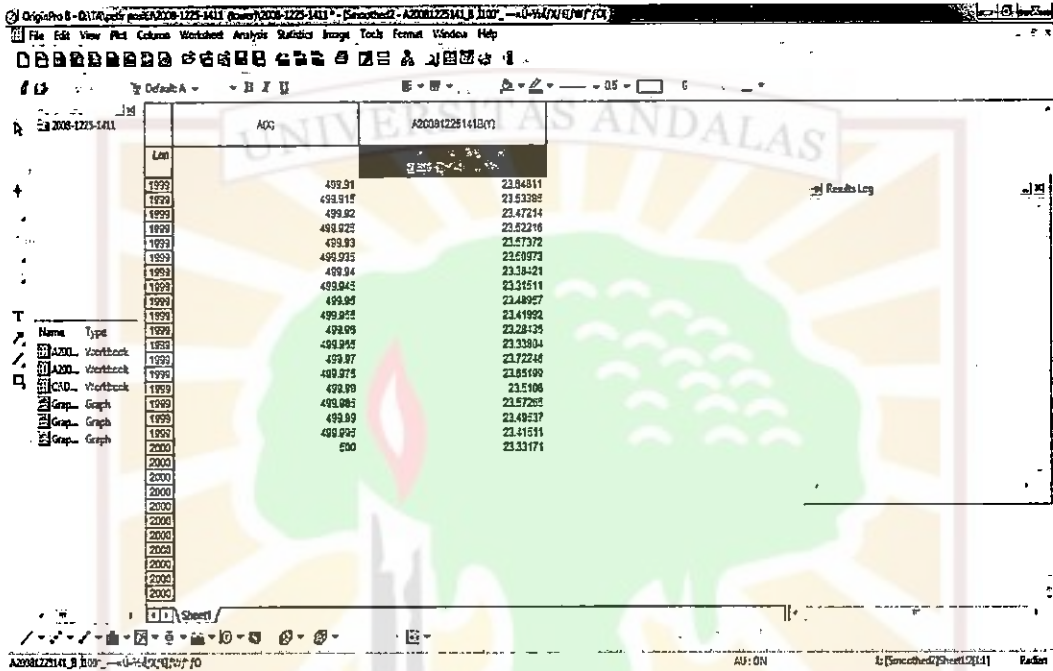
## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Hazmi, Ariadi. *Statistical Characteristic of Upward Lightning Currents from a Wind Turbine and its Lightning Protection Tower, Chapter 3*. Disertasi Doctoral. Jepang : Gifu University. 2011.
- [2] Martin, A. Uman. *Lightning*. Dover Publications, INC. New York. 1984.
- [3] Rakov. *Lightning Phenomenology and Parameters Important for Lightning Protection*. IX International Symposium on Lightning Protection. Foz do Iguaçu, Brazil. . 2007.
- [4] <http://newspaper.pikiran-rakyat.com/prprint.php?mib=beritadetail&id=119973>
- [5] Akbar, S. Hutagaol, *Studi Tentang Sistem Penangkal Peti* , Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2009.
- [6] Argueso, M., G. Robles, dan J. Sanz. *Measurement of High Frequency with a Rogowski Coil*. Department of Electrical Engineering E.P.S. Universidad Carlos III de Madrid.
- [7] Ganawati Dewi. *Induksi Elektromagnetik 92*.  
[http://www.crayonpedia.org/mw/INDUKSIELEKTROMAGNETIK9.2\\_DEWI\\_GANAWATI](http://www.crayonpedia.org/mw/INDUKSIELEKTROMAGNETIK9.2_DEWI_GANAWATI), tanggal akses : 10 Oktober 2011

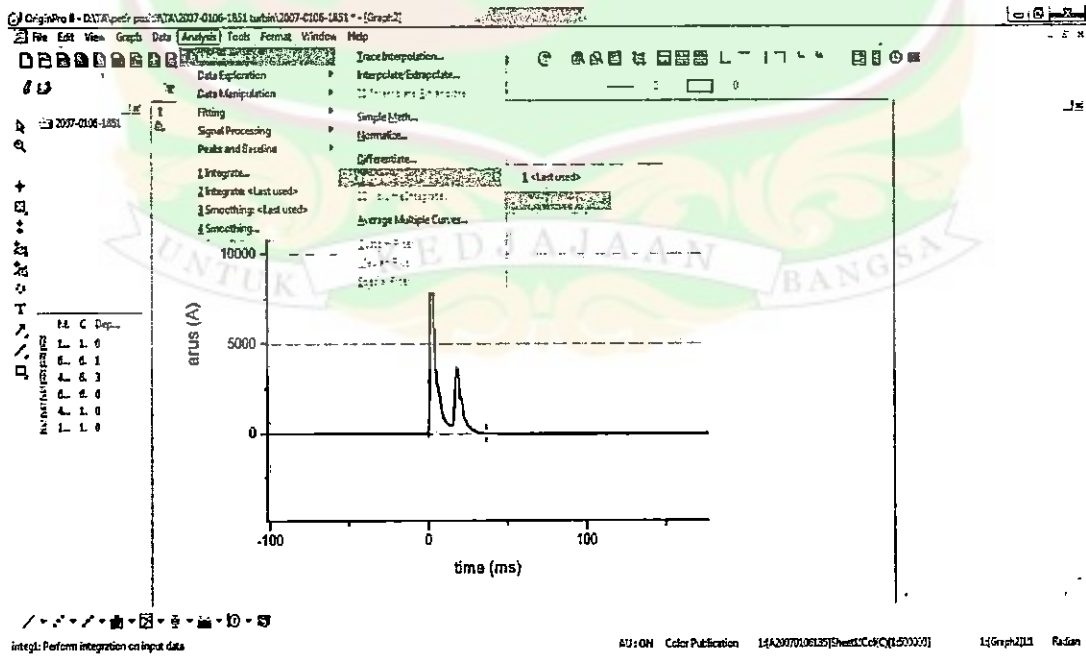
# LAMPIRAN

## A. Proses Pengolahan Data

- Data Awal dan proses pengolahan

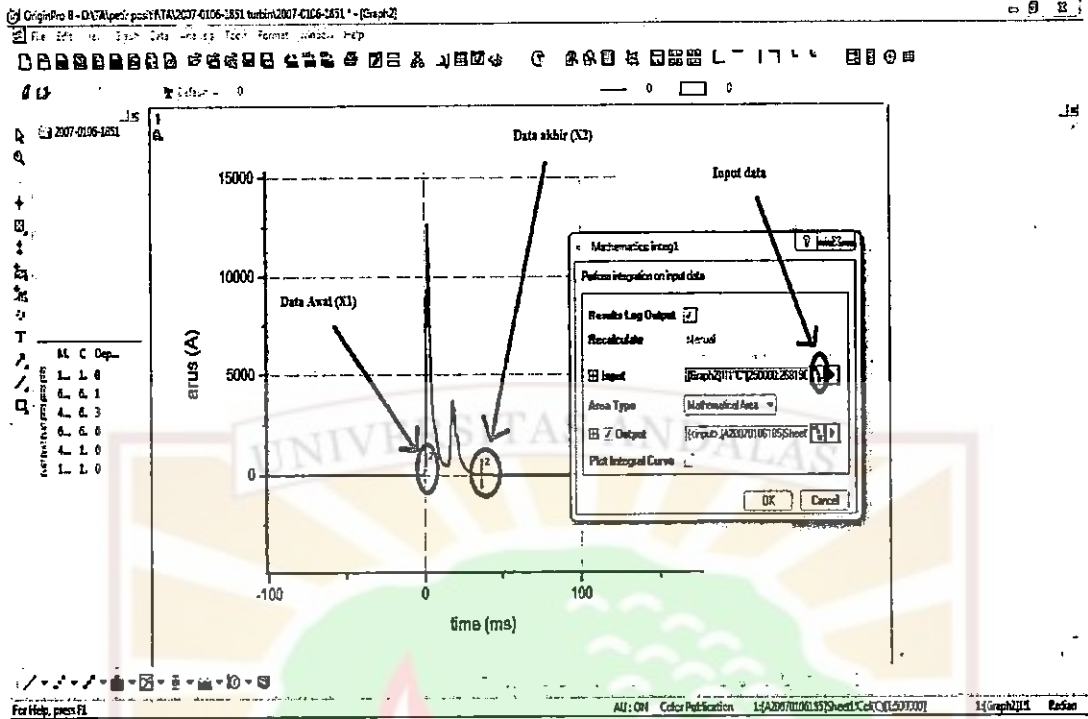


(a)

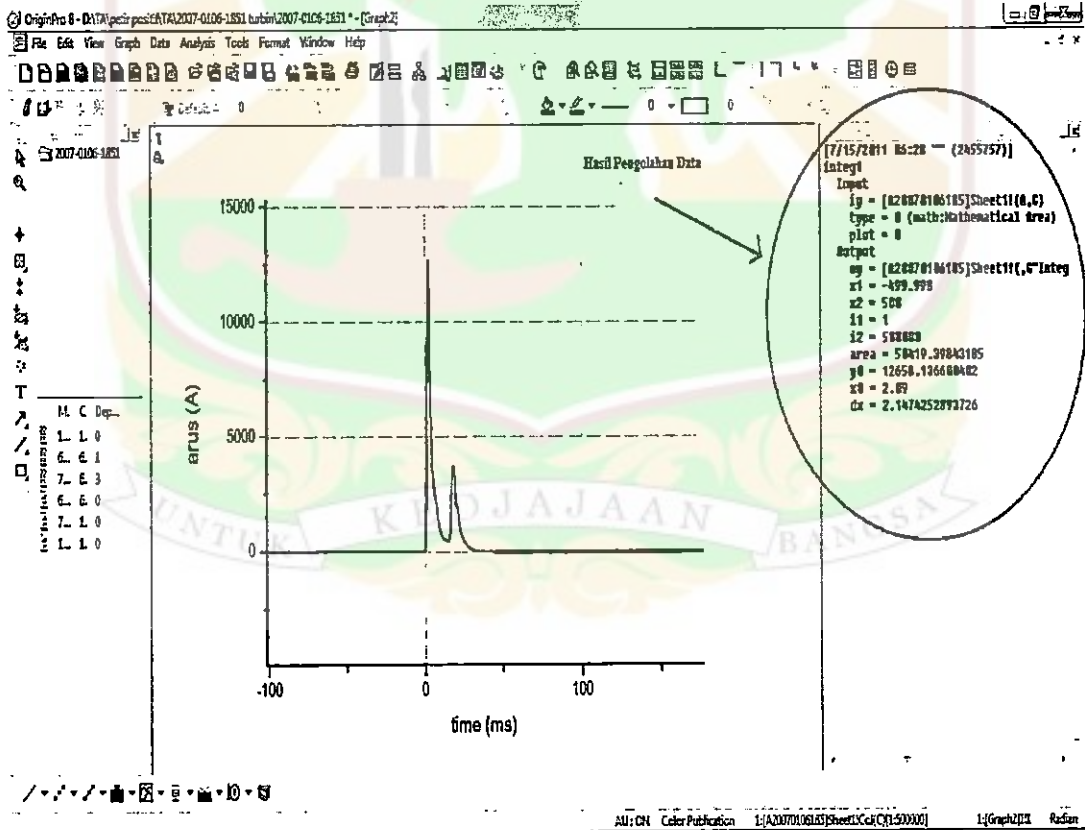


(b)





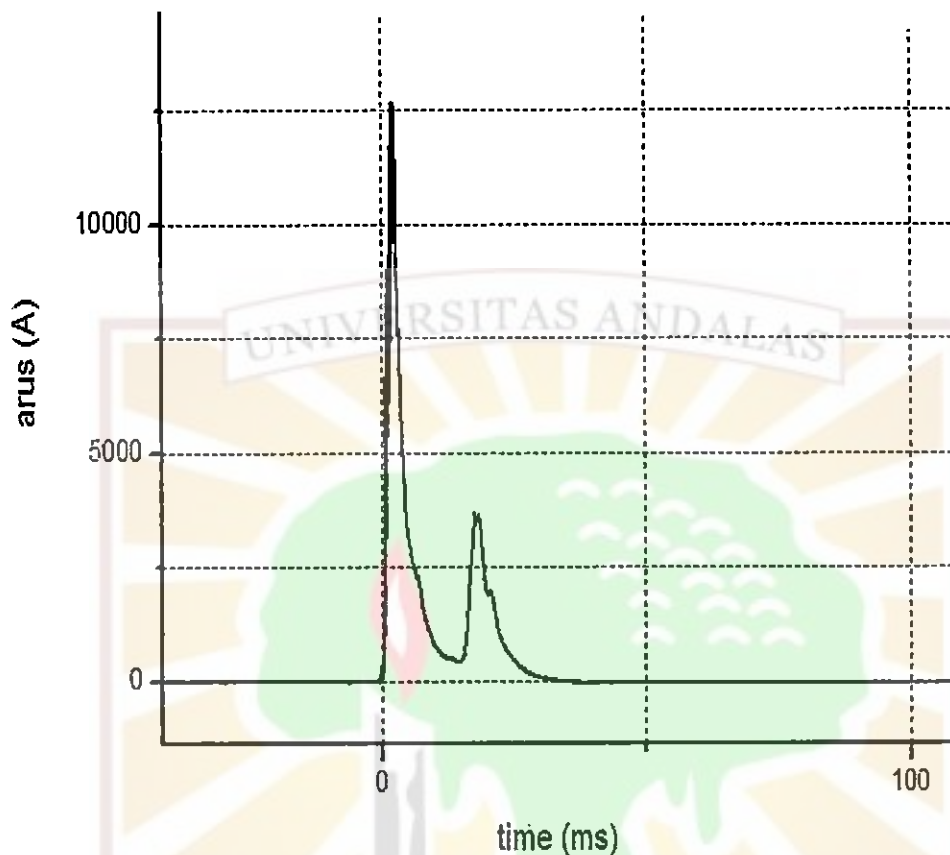
(c)



(d)

Gambar (a).(b).(c).(d) . Proses pengolahan data

1. Data tanggal 6 Januari 2007 pada pukul 18:51



Gambar. Grafik hasil pengukuran pada tanggal 6 Januari 2007

1. The current duration = 43.212 ms
2. The total charge transfer = 62285.627925726 mC
3. The peak current + = 12658.136600402 A
4. The rise time = 2.5065 ms

[4/28/2011 13:16 "" (2455679)]

integ1

Input

iy = [A20070106185]Sheet1!(A,C)

type = 0 (math:Mathematical Area)

plot = 0

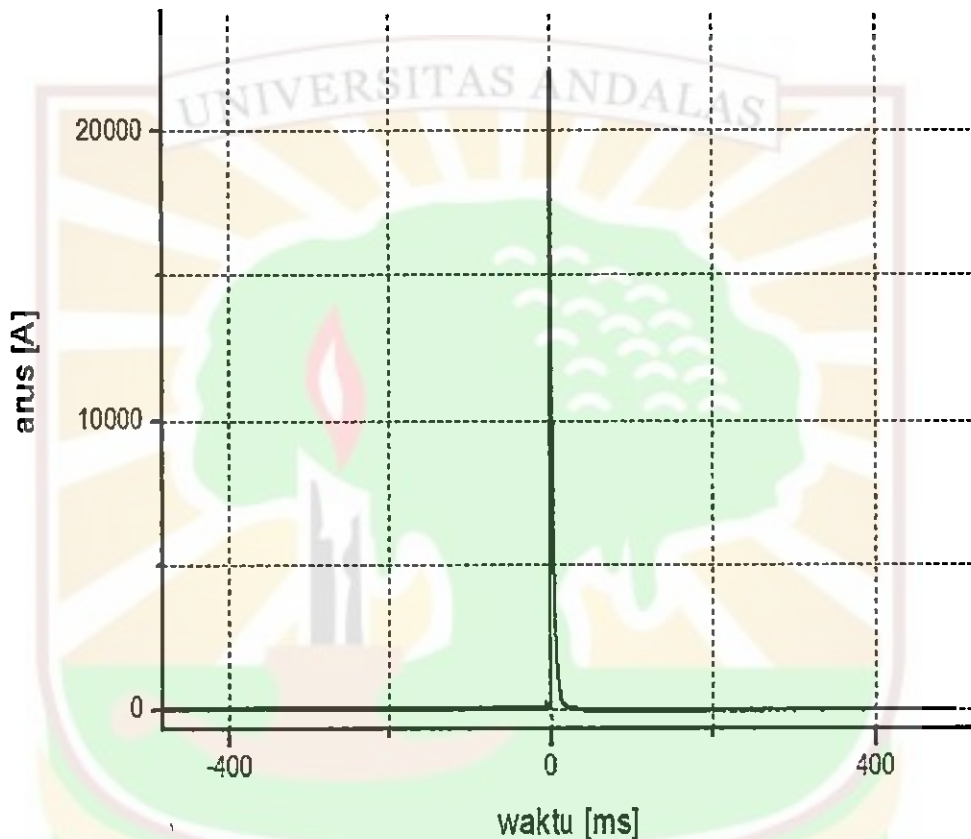
Output

oy = [A20070106185]Sheet1!(,H"Integrated Y2")[249608:255892]

x1 = -0.56

$x_2 = 42.652$   
 $area = 62285.627925726$   
 $y_0 = 12658.136600402$   
 $x_0 = 2.09$

**2. Data tanggal 25 Desember 2008 pada pukul 14:11**



*Gambar. Grafik hasil pengukuran pada tanggal 25 Desember 2008*

1. The current duration = 34.67 ms
2. The total charge transfer = 64158.83875547 mC
3. The peak current + = 22124.032078389 A
4. The rise time = 2.492 ms

[4/28/2011 13:52 "" (2455679)]

Input

$iy = [A20081225141]Sheet1!(A,B)$

type = 0 (math:Mathematical Area)

plot = 0

Output

oy = [A20081225141]Sheet1!(,C"Integrated Y1")[96649:107061]

x1 = -6.665

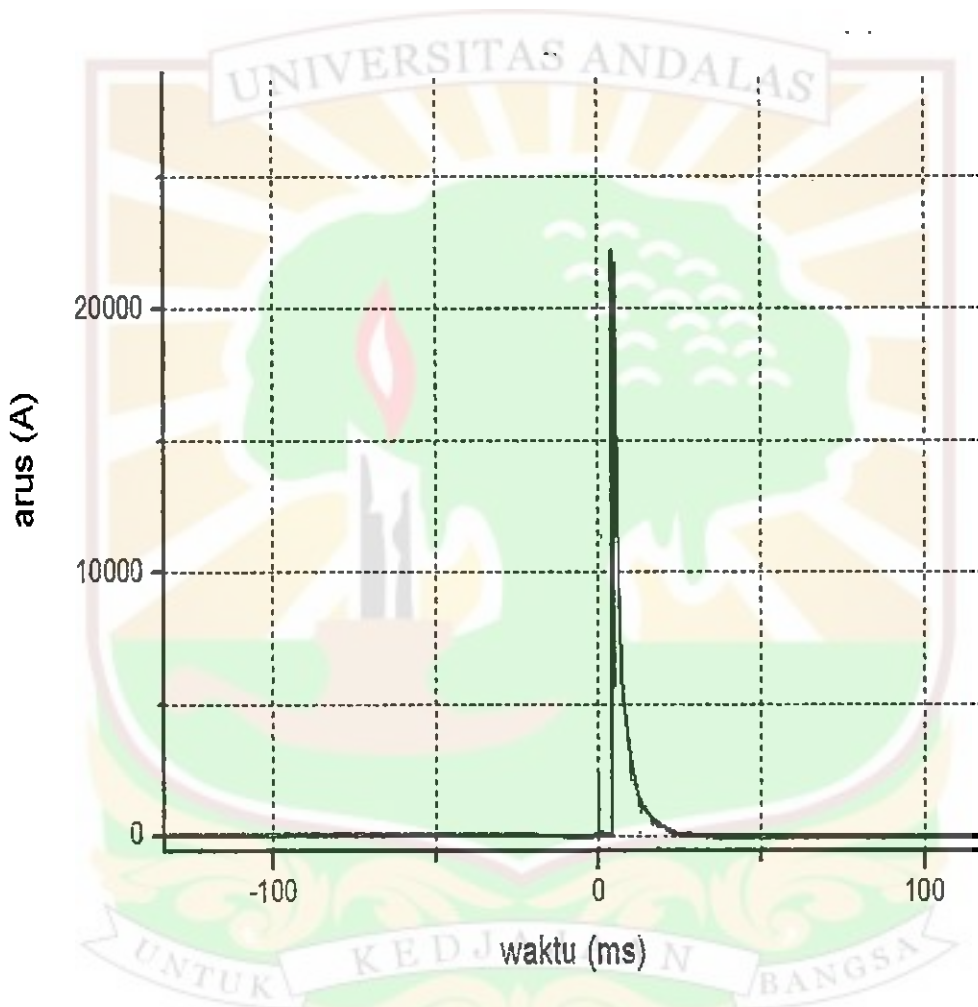
x2 = 28.005

area = 64158.83875547

y0 = 22124.032078389

x0 = 0.319999999999999

### 3. Data tanggal 25 Desember 2008 pada pukul 14:20



Gambar. Grafik hasil pengukuran pada tanggal 25 Desember 2008

1. The current duration = 40.24 ms
2. The total charge transfer = 63947.106050997 mC
3. The peak current + = 22228.007090303 A
4. The rise time = 5.232 ms

integ1

Input

iy = [A20081225142]Sheet1!(A,B)

type = 0 (math:Mathematical Area)

plot = 0

Output

oy = [A20081225142]Sheet1!(,C"Integrated Y1")[100000:107302]

x1 = -2.2

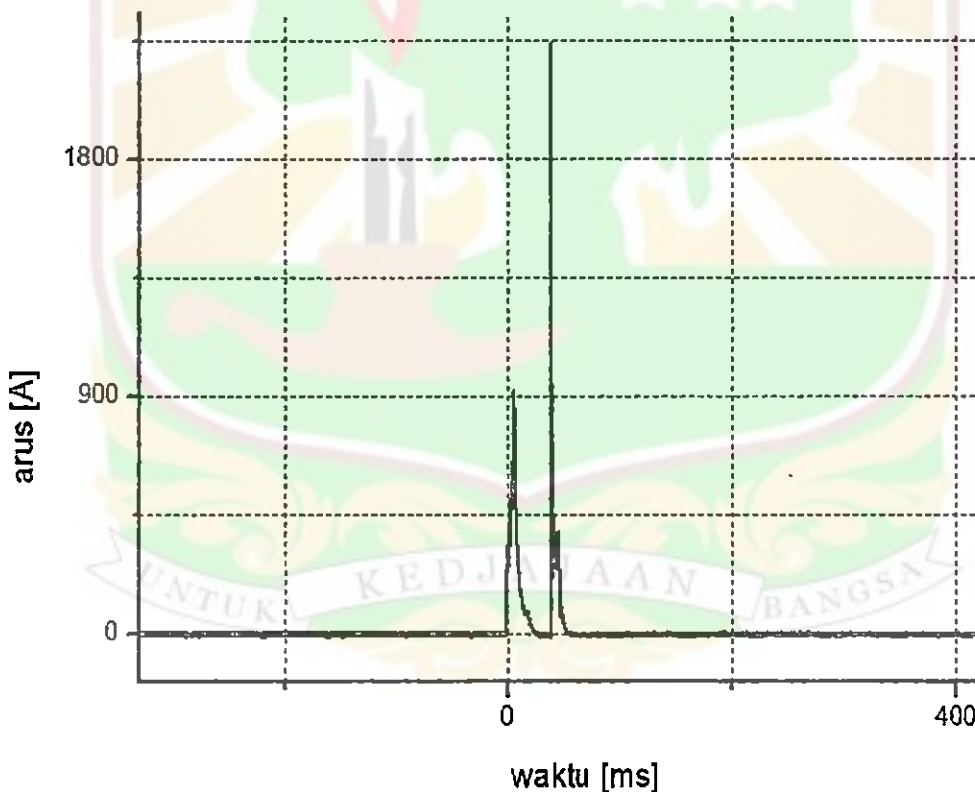
x2 = 38.04

area = 63947.106050997

y0 = 22228.007090303

x0 = 4.325

#### 4. Data tanggal 12 Januari 2009 pada pukul 05:57



Gambar. Grafik hasil pengukuran pada tanggal 12 Januari 2009

1. The current duration = 60.286 ms
2. The total charge transfer = 8968.0738219749 mC
3. The peak current + = 2237.4626278313 A
4. The rise time = 32.8072 ms

[4/28/2011 14:15 "" (2455679)]

integ1

Input

iy = [A20090112055]Sheet1!(zikan,C)

type = 0 (math:Mathematical Area)

plot = 0

Output

oy = [A20090112055]Sheet1!(,A"Integrated Y1")[1:500000]

x1 = -1.93

x2 = 58.356

area = 8968.0738219749

y0 = 2237.4626278313

x0 = 39.148

