

## DETEKSI LOKASI PETIR DENGAN METODA MAGNETIC DIRECTION FINDER

Syaifa Mulyadi\* dan Ariadi Hazmi\*\*

\*Mahasiswa S2 Teknik Elektro Universitas Andalas

\*\*Staff Pengajar Teknik Elektro Universitas Andalas

**Abstrak**—Sambaran petir dapat menimbulkan kerusakan pada objek yang disambar maupun pada objek lain yang mengalami interferensi gelombang elektromagnetik. Proses petir berhubungan dengan pergerakan muatan, sehingga dapat diamati melalui pengukuran medan magnet. Dua loop antenna medan magnet (loop utara/selatan tegak lurus terhadap loop timur/barat) dapat digunakan untuk menentukan arah lokasi petir. Setiap stasiun akan memberikan nilai sudut arah lokasi petir. Lokasi terjadinya petir dapat diperoleh dengan menghitung titik perpotongan jalur medan magnet petir dari 3 titik sensor, dengan menggunakan metode *Magnetic Direction Finding* (MDF). Dari 275 data petir yang terekam pada ketiga stasiun, diperoleh 20 data petir dengan waktu kejadian yang sama. Selanjutnya dari 20 data petir pada masing-masing stasiun dengan waktu kejadian yang sama tersebut diperoleh 3 data petir yang menghasilkan triangulasi lokasi petir. Triangulasi lokasi petir dioptimasi sehingga menghasilkan titik lokasi petir, maka diperoleh nilai persimpangan sudut (*site error*) dari sudut hasil perhitungan. Hasil perhitungan menunjukkan stasiun 1 memiliki *site error* terbesar karena pengaruh topografi. Persentase *site error* rata-rata stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3 adalah 2,88 %, 2,58 % dan 1,16 %.

*Kata kunci: deteksi petir, magnetic direction findings (MDF), lokasi petir, site error.*

**Abstract**—Lightning discharge can cause destruction to the struck object and the other object that feel electromagnetic field interference cause lightning. Lightning process associated with movement of charge so that can be observed by measurement magnetic field. Two loop magnetic antenna (north/south loop perpendicular to west/east loop) use to determine the direction of lightning flash. The principle is compare the output voltage from each sensor. Each station will give angle value toward lightning. Lightning location will get from calculate intersection of three line lightning magnetic field with use Magnetic Direction Finding (MDF) method. From 275 lightning data with record we get 20 data that have same time. From 20 data we get 3 lightning data that produce point location of lightning. Three triangulation of lightning location than optimized, the result is a point of lightning location and we get site error from the angle of calculation result. Average percentage for station 1, station 2 and station 3 is 2,88 %, 2,58 %, 1,16 %.

*Keyword : lightning detection, magnetic direction finding (MDF), lightning location, site error.*

### I. PENDAHULUAN

Proses petir berhubungan dengan pergerakan muatan sehingga dapat dipelajari melalui pengukuran medan listrik dan medan magnet. Berkumpulnya muatan pada satu titik menghasilkan medan listrik yang tinggi. Berbagai proses fisis yang terjadi pada petir awan ke tanah *Cloud to Ground* (CG) maupun petir awan ke awan *Cloud to Cloud* (CC), masing-masing berhubungan dengan medan listrik dan medan magnet yang diradiasikannya dalam suatu gelombang elektromagnetik. Berdasarkan arah datangnya sinyal gelombang elektromagnetik yang diemisikan oleh sumber

petir, dapat ditentukan lokasi, amplitudo serta jenis peluahan yang terjadi pada petir tersebut. Penentuan lokasi petir berupa informasi jarak dan arah dari sambaran petir dapat dilakukan dengan metode *multi station* ataupun *single station*.

Metode *multi-station* lebih akurat untuk mendeteksi lokasi sambaran petir. Salah satu metode *multi-station* yang telah digunakan secara luas adalah *Magnetic Direction finder* (MDF). MDF pada dasarnya terdiri dari dua antenna loop magnetik orthogonal. Loop medan magnet vertikal dan orthogonal digunakan untuk memperoleh asal sambaran petir. Rasio dari sinyal pada masing-masing loop, sebanding

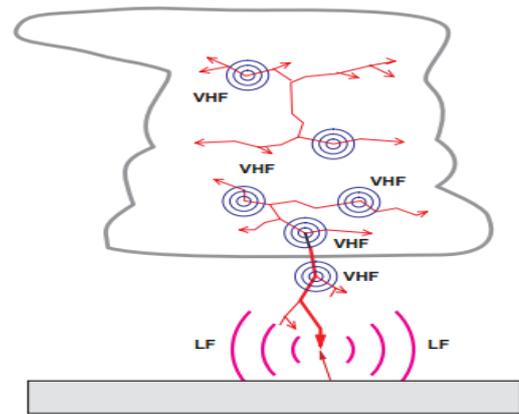
dengan tangan sudut ke sumber. Sistem jaringan MDF membutuhkan setidaknya dua stasiun pengukuran, dimana titik perpotongan dari kedua arah yang ditunjukkan oleh masing-masing MDF memberikan lokasi dari sumber petir. Akurasi yang semakin tinggi dapat diperoleh dengan susunan lebih dari dua stasiun MDF.

Proses awal untuk mendeteksi medan magnet petir adalah dengan merekam sinyal medan magnet petir melalui sebuah antena medan magnet. Antena ini sangat berperandalam menerima besaran frekuensi yang dihasilkan petir, *antenna detector* ini bekerja pada *very low frekuensi* (VLF) dengan rentang frekuensi 3KHz -30KHz yang termasuk dalam range Radio Frekuensi (RF). Selanjutnya digunakan penguat amplifier (VLF), pre-amplifier yang berfungsi mengontrol besaran sinyal petir yang diterima dan menentukan polaritas dari petir yang terjadi<sup>[1]</sup>.

Lokasi petir yang didapatkan dengan metode MDF dari 3 stasiun, bukanlah berupa titik koordinat, melainkan berupa triangulasi perpotongan garis arah petir dari ketiga stasiun, dikenal dengan istilah "*site error*". *Site error* merupakan kesalahan azimuth dalam pembacaan lokasi sumber petir oleh sensor MDF, disebabkan oleh komponen medan magnet yang tidak diinginkan. Komponen medan magnet yang tidak diinginkan ini dapat berupa pantulan gelombang elektromagnetik petir. Terjadi akibat efek dari topografi daerah rambatan gelombang magnet petir ke sensor yang tidak horizontal dan pantulan radiasi dari struktur konduktor yang ada di dekat sensor.

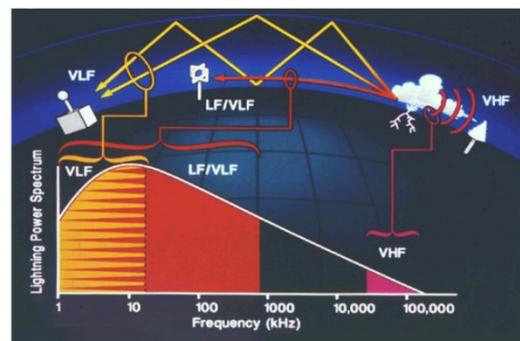
## II. OBSERVASI

Peristiwa terjadinya petir merupakan loncatan beda potensial elektrostatik yang menimbulkan cahaya, bunyi, medan listrik dan medan magnet yang dapat mempengaruhi dan merusak peralatan elektro dan elektronika. Medan magnet yang dihasilkan sewaktu terjadi petir dapat dimanfaatkan untuk menentukan terjadinya petir dengan cara merekam medan magnet petir dalam dua arah dengan dua loop antena. Selain dari suara, kilat, cahaya, medan magnet dan medan listrik, petir juga menghasilkan frekuensi *radio broad band* (frekuensi radio yang sangat lebar dari HF sampai VHF)<sup>[2]</sup>.



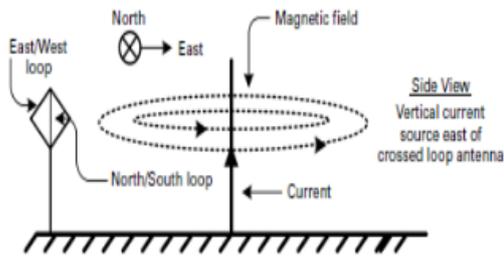
**Gambar 1.** Petir menghasilkan frekuensi radio<sup>[3]</sup>.

Pada gambar 1 terlihat bahwa petir juga menimbulkan radio frekuensi, sehingga dapat ditentukan ukuran antena frekuensi petir yang dapat menerima. Rentang frekuensi yang dihasilkan oleh petir dan beberapa metode deteksinya ditunjukkan pada gambar 2.



**Gambar 2.** Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan petir dan metode pengukurannya<sup>[2]</sup>.

Antena medan magnet petir terdiri dari dua loop antena yaitu loop utara/ selatan dan loop barat/timur. Prinsip kerja medan magnet petir diperlihatkan pada gambar 3. Tegangan keluaran hasil pembacaan kedua loop ini dapat digunakan untuk menentukan arah posisi sambaran petir. Tegangan keluaran dari masing-masing loop antena berbanding lurus dengan medan magnet yang menembus bidang loop tersebut, yang dapat dihitung menggunakan Hukum Faraday<sup>[4]</sup>.



**Gambar 3.** Prinsip kerja sensor medan magnet petir<sup>[5]</sup>.

Perubahan fluks magnet tiap waktu (Wb/detik) pada rangkaian akan menimbulkan tegangan induksi sebesar :

$$V = \frac{KA \cos \theta}{R_1 C_1} B \quad (1)$$

Dimana :

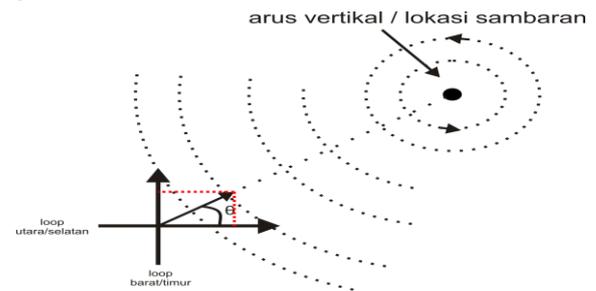
- n = jumlah lilitan loop
  - K = konstanta penguatan pada integrator
  - A = luas antena (m<sup>2</sup>)
  - $\theta$  = sudut antara bidang loop dengan sumber muatan
  - R<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> = resistansi (300Ω) dan kapasitansi (variasi 10<sup>-4</sup> sampai 10<sup>-2</sup> pF) gabungan.
- Impedansi input dari integrator yang ditentukan oleh nilai R<sub>1</sub> dan resistor ke ground yang dihubungkan ke kabel sinyal, haruslah selalu sesuai (matching) dengan impedansi karakteristik dari kabel sinyal. HPF pada loop feedback integrator menghasilkan stabilitas DC dari output integrator.

**2.1 Penentuan Lokasi Petir Dengan Metoda Magnetic Direction Finder (MDF).**

Pada kejadian peluahan petir dari awan ke tanah (CG), puncak medan inisiasi dari radiasi magnetik terjadi pada saat return stroke yang berpropagasi ke atas untuk mencapai ketinggian beberapa ratus meter. Sistem MDF menentukan arah peluahan petir hanya sesaat dari medan puncak inisiasi sinyal yang terukur oleh antena loop. Titik arah vektor yang dihasilkan, sedapat mungkin dekat dengan lokasi sambaran CG, berdekatan dengan tanah.

Arah lokasi petir dapat ditentukan dengan membandingkan tegangan keluaran pada loop barat/timur terhadap loop utara/selatan<sup>[6]</sup>.

Diagram polar loop antena ditunjukkan pada gambar 4.



**Gambar 4.** Magnetic Direction Finding (MDF)<sup>[5]</sup>.

*sinyal loop utara utara/selatan ~ cosθ*

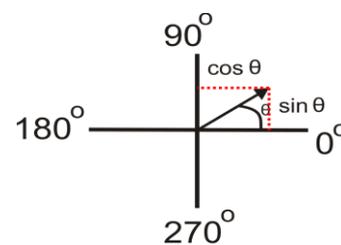
*sinyal loop barat/timur ~ sinθ*

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \quad (2)$$

Sehingga :

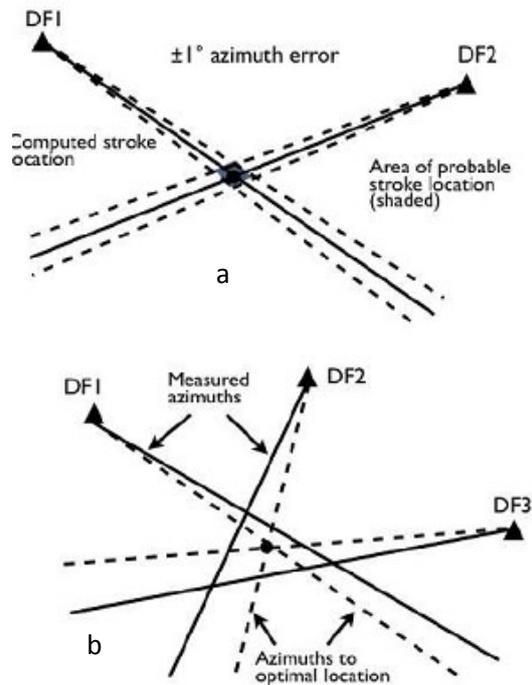
$$\tan \theta = \frac{\text{sinyal loop barat/timur}}{\text{sinyal loop utara/selatan}} \quad (3)$$

Rasio sinyal barat/timur terhadap sinyal utara/selatan berbanding lurus dengan tangen sudut antara utara dengan sumber yang dilihat dari antena, oleh sebab itu radiasi medan magnet sumber arus berada pada arah vertikal, arah sumber dapat ditentukan dengan mengukur rasio tegangan yang terdeteksi oleh 2 loop yang saling tegak lurus<sup>[5]</sup>. Dengan menghitung sudut arah lokasi petir maka dapat diketahui kuadran posisi lokasi petir dari sensor seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5.** Diagram polar loop antena

Jika saluran petir vertikal, sinyal yang diterima oleh loop bebas dari refleksi ionosfer, menentukan arah secara akurat melalui titik sambaran. Bagaimanapun saluran petir, biasanya tidak vertikal dan sinyal medan magnet yang diterima oleh sensor MDF mungkin terpisah akibat refleksi petir yang dihasilkan dari ionosfer. Dari dua fakta ini, akan menyebabkan pengukuran kurang akurat<sup>[7]</sup>.



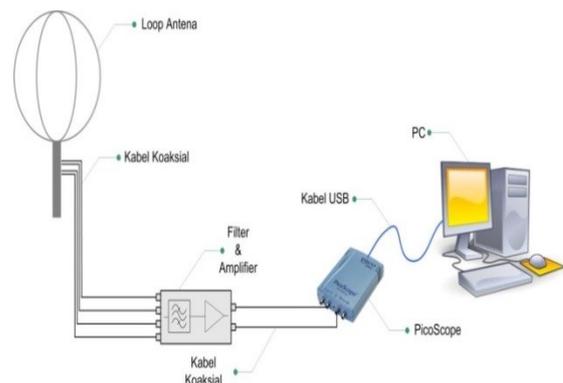
**Gambar 6** Teknik Penentuan lokasi petir (a) dua antenna metode MDF (b) Metode MDF dengan tiga antenna<sup>[2]</sup>.

Sistem jaringan MDF pada umumnya terdiri dari dua atau lebih sensor antenna loop dandilengkapi dengan optimasi lokasi, diantara sensor-sensor tersebut berfungsi untuk mendeteksi sambaran petir, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Stasiun penerima medan magnet petir dipasang minimal 2 stasiun atau lebih, gunanya agar masing-masing dari stasiun penerima petir tersebut dapat membandingkan sinyal petir yang diterimanya pada waktu kejadian yang bersamaan, menghasilkan arah dari titik pertemuan datangnya signal petir tersebut. Model penentuan lokasi petir dengan menggunakan dua dan tiga stasiun diperlihatkan pada gambar 6. Penentuan lokasi sambaran petir yang tepat menggunakan MDF membutuhkan penerapan “*site error correction*” pada algoritma. Kondisi pada lokasi sensor berupa objek yang ada didekatnya, seperti tiang metal, kabel yang tertanam atau instalasi konduktor lainnya, dapat menyebabkan perubahan arah radiasi medan magnet petir. Namun dapat dilakukan penentuan sistematika dari error untuk masing-masing lokasi sensor MDF. Berdasarkan data historis, sehingga diperoleh nilai faktor koreksi dan digunakan pada algoritma penentuan lokasi petir<sup>[8]</sup>.

### III. METODOLOGI PENELITIAN.

#### 3.1 Skema Pengukuran Medan Magnet Petir

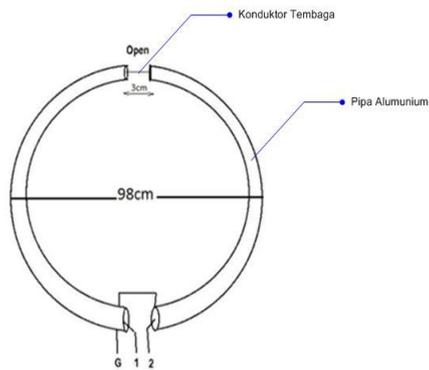
Stasiun pengukuran gelombang medan magnet petir terdiri dari antenna loop orthogonal, rangkaian detektor, picoscope dan *personal computer* (PC). Antena loop terhubung ke input rangkaian detektor melalui kabel koaksial. Output rangkaian detektor kemudian terhubung ke input picoscope, juga melalui kabel koaksial. Output picoscope dihubungkan melalui kabel USB ke PC, untuk mengamati bentuk gelombang medan magnet yang terdeteksi oleh antenna loop. Skema rangkaian pengukuran medan magnet petir pada satu stasiun deteksi ditunjukkan pada gambar 7



**Gambar 7** Skema Rangkaian Pendeteksi Medan Magnet Petir

#### 3.2 Desain Antena Medan Magnet Petir.

Antena loop dibangun menggunakan kabel koaksial, agar antenna bisa dipasang tegak, sehingga dilakukan modifikasi pada kabel koaksial, dimana diambil bagian inti konduktor tembaga dan isolatornya saja. Bagian shieldnya diganti dengan pipa aluminium, seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. Dua buah antenna loop dipasang secara bersilangan dimana masing-masing mendeteksi utara/selatan dan timur/barat dari medan magnet petir. Antena loop untuk deteksi arah medan magnet petir, menghasilkan hasil rancangan ditunjukkan pada gambar 9. Antena didesain agar sesuai dengan karakteristik frekuensi dari gelombang medan magnet yang dihasilkan oleh petir. Spesifikasi antenna loop hasil rancangan ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 8. Konstruksi Antena Loop

Tabel 1. Spesifikasi Antena Loop

Panjang lingkaran antena	300 cm
Diameter Antena	98 cm
frekuensi center antena	100 MHz
Impedansi antena	300 ohm
Gain antena	2,2 dB



Gambar 9. Antena loop medan magnet petir

### 3.3 Konfigurasi Sistem Pengukuran Medan Magnet Petir

Penentuan lokasi petir dengan metode MDF menggunakan tiga stasiun yang diletakan di wilayah kota Padang. Posisi dari ketiga stasiun petir diperlihatkan pada gambar 10 dan lokasi koordinat masing-masing stasiun ditunjukkan

pada tabel 2. Pada gambar 10 terlihat bahwa penempatan stasiun detektor telah dapat melingkupi untuk deteksi petir di wilayah Kota Padang.

Tabel 2. Koordinat stasiun deteksi petir

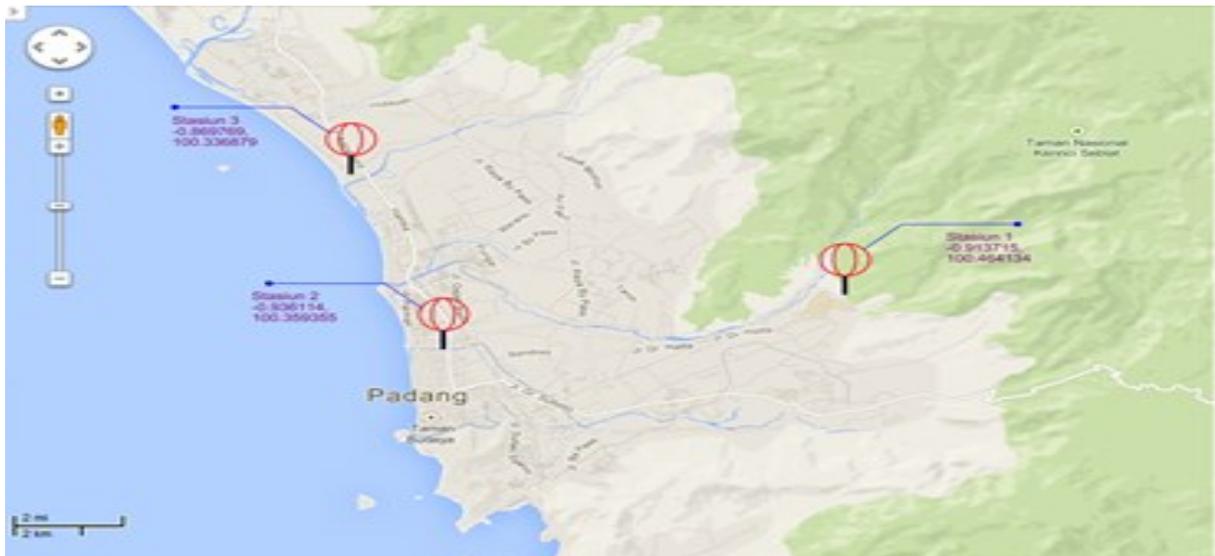
Stasiun	Latitude	Longitude
1	-0,913715	100,464134
2	-0,936114	100,359355
3	-0,869769	-100,336879

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penentuan Titik Lokasi Petir

Penentuan arah lokasi petir, dengan menggunakan metode MDF, membandingkan tegangan keluaran pada antena loop timur/barat (TB) terhadap antena loop utara/selatan (US), sebanding dengan tangen  $\theta$  sesuai dengan persamaan (1). Sudut  $\theta$  yang diperoleh merupakan sudut apit antara arah lokasi petir dengan bidang antena loop. Nilai tegangan keluaran diambil adalah nilai absolut tertinggi dari sinyal masing-masing loop dengan waktu yang sama, merupakan nilai medan magnet yang terdeteksi oleh antena loop saat terjadi *return stroke*.

Data medan magnet petir yang terekam adalah file dari picoscope dengan ekstensi .psdata, berupa bentuk gelombang dan bisa diubah ke dalam file .txt, berupa data nilai tegangan dari semua channel picoscope dalam satuan waktu. Bentuk gelombang dari file .psdata dapat dilihat pada gambar 11. Tegangan loop TB adalah gelombang dengan warna merah sedangkan tegangan loop US adalah gelombang dengan warna hijau. Nilai tegangan dengan amplitude absolut tertinggi pada waktu yang sama dari masing-masing loop (TB dan US) dapat dicari dari file .txt atau dengan mengamati bentuk gelombang pada file .psdata.

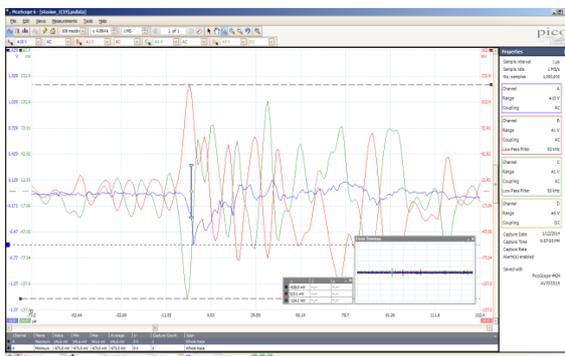


**Gambar 10.** Konfigurasi Stasiun Petir di Kota Padang

Berikut adalah perhitungan arah lokasi petir terhadap masing-masing stasiun petir serta titik lokasi petir yang diperoleh dari data petir pada tanggal 12/01/2014 waktu 21:57:59 WIB.

Stasiun 1

Bentuk gelombang tegangan keluaran antena loop TB dan antena loop US dari stasiun 1, dari hasil pengamatan diperlihatkan pada gambar 4.2. Tegangan absolut maksimum loop TB pada channel B bernilai 123,1 mV, sedangkan tegangan loop US pada channel C bernilai -124,1 mV.



**Gambar 11.** Tegangan antena loop stasiun 1 berdasarkan data 12/01/2014 21:57:59 WIB

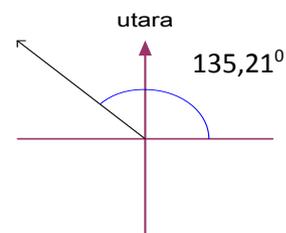
Sudut yang dihasilkan dari perbandingan nilai tegangan loop TB dengan loop US adalah:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{123,1}{-124,1} = -44,790^\circ$$

Karena tegangan loop TB bernilai negative (-) dan tegangan loop US bernilai negative (-) maka arah yang dihasilkan ada pada kuadran II, sehingga besar sudut adalah:

$$\theta = 180^\circ + (-44,790^\circ) = 135,21^\circ$$

Arah lokasi petir dari stasiun 1 adalah pada kuadran II dengan sudut ( $\theta$ )135,21° seperti pada gambar 13.



**Gambar 12.** Arah lokasi petir dari stasiun 1 berdasarkan data 12/01/2014 21:57:59 WIB

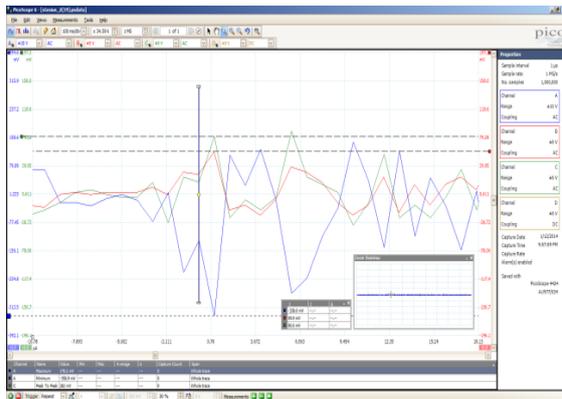
Stasiun 2

Bentuk gelombang tegangan keluaran antena loop TB dan antena loop US dari stasiun 2, dari hasil pengamatan diperlihatkan pada gambar 14. Tegangan absolut maksimum loop TB pada channel B bernilai 59,9 mV, sedangkan tegangan loop US pada channel C bernilai 80,6 mV.

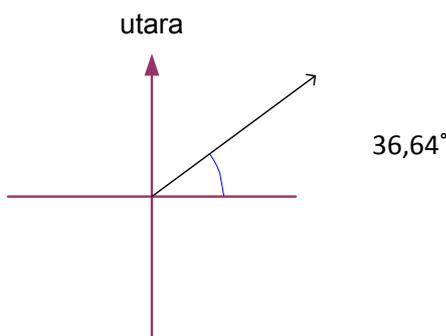
Sudut yang dihasilkan dari perbandingan nilai tegangan loop TB dengan loop US adalah:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{59,9}{80,6} = 36,64^\circ$$

Maka arah lokasi petir dari stasiun 2 adalah pada kuadran I, dengan sudut ( $\theta$ )36,64° seperti pada gambar 4.3.



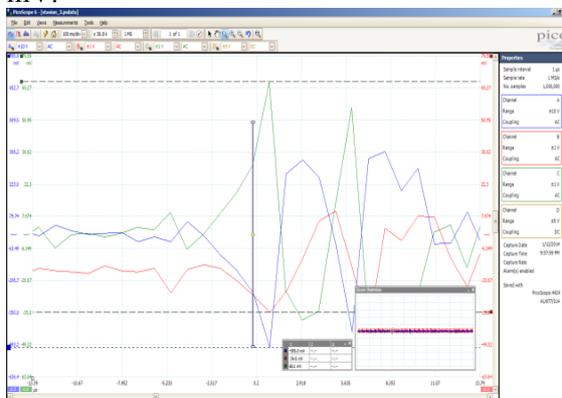
**Gambar 13.** Tegangan antenna loop stasiun 2 berdasarkan data petir 12/01/2014 21:57:59 WIB



**Gambar 14.** Arah lokasi petir dari stasiun 2 berdasarkan data 12/01/2014 21:57:59 WIB

**Stasiun 3**

Bentuk gelombang tegangan keluaran antenna loop TB dan antenna loop US dari stasiun 3, dari hasil pengamatan diperlihatkan pada gambar 4.6. Tegangan absolut maksimum loop TB pada channel B bernilai -19,6 mV, sedangkan tegangan loop US pada channel C bernilai 78,1 mV.



**Gambar 15.** Tegangan antenna loop stasiun 3 berdasarkan data petir 12/01/2014 21:57:59 WIB

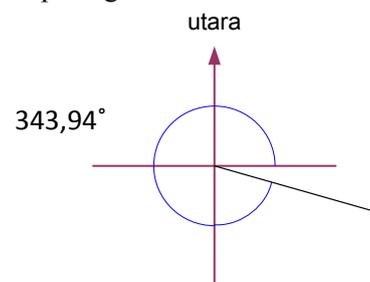
Sudut yang dihasilkan dari perbandingan nilai tegangan loop TB dengan loop US adalah:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-19,6}{78,1} = -16,065^\circ$$

Karena tegangan loop TB bernilai negative (-) dan tegangan loop US bernilai positive (+), maka arah yang dihasilkan ada pada kuadran IV, sehingga besar sudut adalah:

$$\theta = 360^\circ + (-16,065^\circ) = 343,94^\circ$$

Maka arah lokasi petir dari stasiun 3 adalah pada kuadran IV dengan sudut ( $\theta$ )343,94° seperti pada gambar 17.



**Gambar 16.** Arah lokasi petir dari stasiun 3 berdasarkan data 12/01/2014 21:57:59 WIB

Hasil perhitungan arah lokasi petir berdasarkan data petir pada 12/01/2014 21:57:59 WIB dari ketiga stasiun, ditunjukkan pada tabel 3. Berdasarkan nilai sudut arah lokasi petir dari masing-masing stasiun, maka bisa didapatkan lokasi petir dengan membuat garis pada peta sesuai dengan koordinat masing-masing stasiun. Lokasi petir yang didapatkan adalah berupa triangulasi dari perpotongan garis arah lokasi petir dari ketiga stasiun seperti ditunjukkan pada gambar 17.

**Tabel 3.** Hasil perhitungan arah lokasi petir berdasarkan data 12/01/2014 21:57:59 WIB

Stasiun	Tegangan Loop TB (mV)	Tegangan Loop US (mV)	Sudut $\theta$	Kuadran
1	123,1	-124,1	135,21°	II
2	59,9	80,6	36,64°	I
3	-19,6	68,1	343,94°	IV

Berdasarkan nilai tegangan loop sensor pada masing-masing stasiun pada tabel 3, dapat dilihat bahwa tegangan absolut loop sensor yang paling besar yaitu pada stasiun 1, bernilai 123 mV untuk loop TB dan -124 mV untuk loop US, sedangkan pada stasiun 2 bernilai 59,9 mV untuk loop TB dan 80,6 mV untuk loop US dan loop pada stasiun 3 mempunyai tegangan

paling kecil yaitu -19,6 mV untuk loop TB dan 68,1 mV untuk loop US. Nilai tegangan masing-masing loop sensor ini menunjukkan bahwa lokasi sumber petir berada paling dekat dengan stasiun 1 dan paling jauh dari stasiun 3. Hasil tersebut sesuai dengan lokasi petir, membentuk triangulasi perpotongan garis arah lokasi petir.

#### 4.2 Analisa Optimasi Lokasi Petir dan Site Error.

Lokasi petir yang didapatkan dengan metode MDF dari 3 stasiun, bukanlah berupa titik koordinat melainkan berupa triangulasi perpotongan garis arah petir dari ketiga stasiun, dikenal dengan istilah “*site error*”. *Site error* yaitu kesalahan azimuth dalam pembacaan lokasi sumber petir oleh sensor MDF, disebabkan oleh komponen medan magnet yang tidak diinginkan, akibat efek dari topografi daerah rambatan gelombang magnet petir ke sensor yang tidak horizontal dan pantulan radiasi dari struktur konduktor yang ada di dekat sensor. *Site error* menyebabkan persimpangan pembacaan lokasi sumber petir oleh sensor dari lokasi petir sesungguhnya. Dari penelitian sebelumnya diperoleh data bahwa *site error* yang terjadi yaitu dengan penyimpangan sebesar 30° untuk sistem MDF dengan sensor narrow band, dan 10°. Untuk sistem MDF dengan sensor wide band, secara umum penyebab “*site error*” adalah struktur berupa bangunan, saluran dan kabel *power* yang ada di dekat sensor MDF dan variasi dari topografi daerah di sekitar sensor MDF<sup>[9]</sup>.

Dari lokasi petir yang terekam pada 12/01/2014 21:57:59 WIB, yang ditunjukkan oleh sensor, bahwa antarlokasi tersebut terdapat daerah perbukitan, dapat dilihat pada peta berwarna hijau. Terjadinya *site error*, disebabkan oleh pantulan gelombang medan magnet pada daerah perbukitan, yang topografinya tidak datar. Sensor loop antena pada masing-masing stasiun akan mendeteksi gelombang medan magnet yang berupa gelombang pantulan, sehingga nilai tegangan output dari masing-masing loop TB dan loop US dari sensor akan

memberikan pembacaan arah tangensial lokasi petir, yang sedikit menyimpang dari lokasi petir sesungguhnya. Untuk mendapatkan titik lokasi petir, maka dilakukan optimasi dari data triangulasi lokasi petir yang diperoleh. Pada penelitian ini titik lokasi petir dianggap adalah titik tengah dari segitiga lokasi petir hasil triangulasi. Optimasi titik lokasi petir untuk data petir pada 12/01/2014 21:57:59 ditunjukkan pada gambar 4.7.

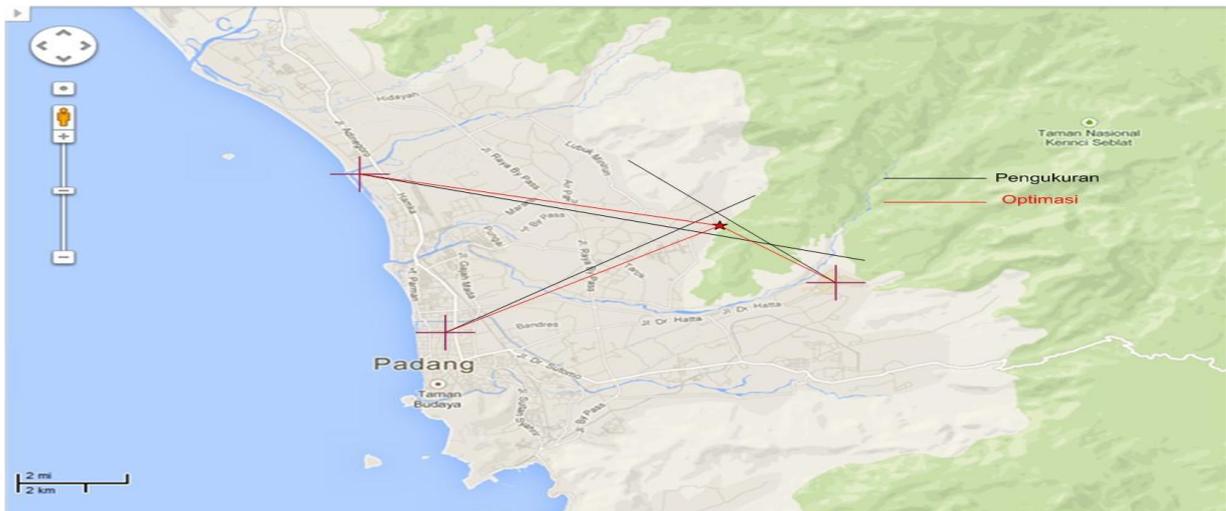
Hasil optimasi memperlihatkan persimpangan sudut (*error*) yang terjadi akibat *site error* pada penentuan arah petir, di masing-masing stasiun. Pengukuran sudut arah lokasi petir pada stasiun 1 mengalami penyimpangan sebesar 5,21°, sedangkan pada stasiun 2 mengalami penyimpangan sebesar 3,41° dan pada stasiun 3 mengalami penyimpangan sebesar 2,54° dari titik lokasi petir hasil optimasi. Dapat dilihat bahwa nilai error yang diperoleh berada di bawah 10°, sesuai dengan error untuk sistem MDF *wide band*<sup>[9]</sup>. Perbandingan sudut arah yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan hasil optimasi ditunjukkan pada tabel 4.

**Tabel 4.** Perbandingan sudut arah lokasi petir yang diperoleh dari pengukuran dengan hasil optimasi berdasarkan data petir 12/01/2014 21:57:59 WIB

Stasiun	Sudut Hasil pengukuran	Sudut Hasil Optimasi	Error
1	135,21°	140,41°	3,308%
2	36,64°	33,22°	2,797%
3	343,94°	346,48°	1,508%

#### 4.3 Perbandingan Penentuan Lokasi dari Beberapa Data Petir

Dari beberapa data petir dapat dilakukan perbandingan bentuk gelombang medan magnet yang diperoleh dari masing-masing kejadian dan lokasi petir .



**Gambar 17.** Optimasi titik lokasi petir berdasarkan data 12/01/2014 21:57:59 WIB

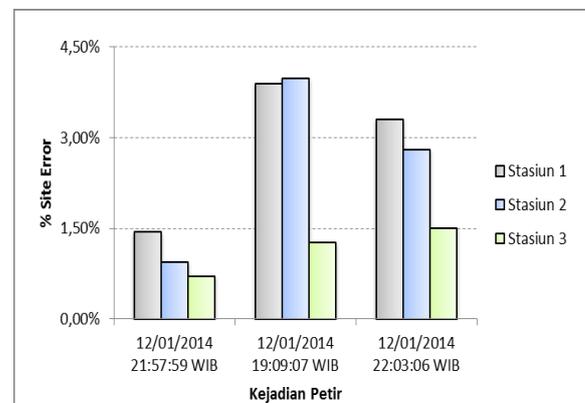
Untuk melakukan perhitungan arah lokasi petir, dengan cara yang sama seperti di atas, maka dapat diperoleh nilai sudut arah lokasi petir untuk masing-masing stasiun, berdasarkan data petir pada tanggal 12/01/2013 jam 19:09:07 dan data petir pada tanggal 12/01/2013 jam 22:03:06, lokasi petir sesungguhnya dapat ditentukan di titik tengah (titik optimasi) dari daerah segitiga triangulasi. Titik lokasi petir hasil optimasi untuk data petir pada tanggal 12/01/2013 jam 19:09:07 WIB dan data petir pada tanggal 12/01/2013 jam 22:03:06 WIB, dapat dihitung berapa persimpangan sudut (*site error*) yang terjadi pada masing-masing stasiun.

Dari beberapa data petir yang telah dilakukan perhitungan sudut arah lokasi petir dan penentuan lokasi petir, serta optimasi titik lokasi petir, maka dapat dilakukan pengamatan nilai penyimpangan sudut arah lokasi petir (*site error*) yang terjadi untuk masing-masing data petir. Nilai *site error* untuk masing-masing data petir dituliskan kembali pada tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai *site error* pada tiap-tiap stasiun untuk beberapa data petir

Stasiun	Site Error Berdasarkan Data Petir		
	12/01/2014 21:57:59 WIB	12/01/2014 19:09:07 WIB	12/01/2014 22:03:06 WIB
1	5,21°	13,99°	11,91°
2	3,41°	14,35°	10,07°
3	2,54°	4,54°	5,43°

Dari perbandingan nilai *site error* pada tiap-tiap stasiun petir, berdasarkan beberapa data petir pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa *site error* bernilai paling besar adalah pada stasiun 1. Dapat dijelaskan bahwa stasiun 1 mempunyai lokasi yang dekat dengan perbukitan, dimana topografinya tidak datar. Hal ini memungkinkan terjadi lebih banyak pemantulan gelombang medan magnet petir sehingga terjadi penyimpangan pembacaan arah lokasi petir oleh sensor pada stasiun 1, yang lebih besar dibandingkan sensor pada stasiun 2 dan stasiun 3. Secara persentase, *site error* untuk ketiga stasiun diperlihatkan pada gambar 4.8, dimana *site error* rata-rata tertinggi terekam oleh stasiun 1. Topografi mempengaruhi penerimaan gelombang elektromagnetik terhadap antena.



**Gambar 18.** persentase *site error* tiap-tiap stasiun untuk 3 data petir.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan tiga stasiun dalam menentukan lokasi menggunakan metoda Magnetic Direction Finding (MDF) menghasilkan triangulasi. Dalam penelitian ini menggunakan optimasi untuk mendapatkan lokasi dari sambaran petir.
2. Berdasarkan perbandingan nilai *site error* pada tiap-tiap stasiun dari beberapa data petir, dapat dilihat bahwa stasiun dengan *site error* paling besar adalah station 1, dimana stasiun 1 berada dekat daerah perbukitan, topografinya tidak datar dan memungkinkan terjadi lebih banyak pemantulan gelombang medan magnetik petir, sehingga terjadi penyimpangan pembacaan arah lokasi petir oleh sensor.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biagi, C.J., K.L. Cummins, K.E. Kehoe and E.P. Krider, 2007, "National lightning detection network"
- [2] Cummins, K.L., and M.J. Murphy, 2000, "Overview of lightning Detection in the VLF, LF, and VHF frequency ranges"
- [3] Finke, U. dan Kreyer, O. 2002. Detect and Locate Lightning Events from Geostationary Satellite Observations.
- [4] E. P. Krider, R. C. Noggle and M. A. Uman, "A gated, wide-band, magnetic direction finder for lightning return strokes", J. Appl. Meteor., Vol. 15, pp. 301, 1976.
- [5] Uman, Martin A. 2008. *The Art and Science of Lightning Protection*. Cambridge University Press
- [6] Uman, Martin A. 2001. "The Lightning Discharge". New York: Dover Publications, INC Mineola.
- [7] Cooray, Vernon. 2003. "The Lightning Flash". London : Institution of Electrical Engineers
- [8] Gerhard Diendorfer, "Lightning Location Systems (LLS)", IX International Symposium on Lightning Protection, 26th-30th November 2007 – Foz do Iguaçu, Brazil

[9] Mingli Chen, Tau Lu, Yaping Du, "Properties of Site Error of Lightning Direction-Finder and its Modelling" Atmospheric Research 129-130, , pp. 97-109, 2013

### *Biodata Penulis*

**Syaifa Mulyadi** lahir di Pariaman 27-10-1968, memperoleh gelar S.T. dari Universitas Bung Hatta dan menyelesaikan S2 tahun 2014 di Universitas Andalas dengan konsentrasi Teknik Energi Elektrik.