

GANGGUAN MEDAN MAGNET MENGGUNAKAN SENSOR FLUXGATE MAGNETOMETER (STUDI KASUS: BMKG)

Didik Aribowo¹, Desmira², Anand Fikri³

^{1,2,3}Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang 42117, Indonesia

Abstrak - Badan Meteorologi Klimatologi dan geofisika atau sering disebut dengan BMKG memiliki peralatan geofisika terdiri dari saismograf, gravitimeter, accelerometer, intensitymeter, dan magnetometer. Pada penelitian kali ini di gunakan alat ukur magnet bumi yaitu magnetometer dengan jenis fluxgate model FGE-K2 sebagai alat ukur variasi medan magnet terhadap gangguan medan magnet. Sensor fluxgate magnetometer mempunyai inti yang terbuat dari bahan khusus, dan dua buah probe, yakni probe untuk kumparan primer (pengeksitasi atau excitation coil) dan probe untuk kumparan sekunder (penangkap atau pick-up coil). Sensor ini memiliki sensitivitas yang meningkat dengan meningkatnya jumlah lilitan kumparan sekunder dan/atau meningkat nya suhu operasi. Dalam penulisan jurnal ini ditunjukkan grafik gangguan medan magnet di sekitar stasiun geofisika tangerang untuk menghitung berapa besar nilai gangguan medan magnet tersebut apabila terjadi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa garfik yang dihasilkan kurang baik, ini dikarenakan data yang di dapat oleh sensor tersebut terpengaruh noise disebabkan pengaruh keadaan wilayah di sekitar sensor yang terganggu.

Kata Kunci: Magnetometer, Fluxgate sensor, Medan magnet

I. PENDAHULUAN

Magnet merupakan suatu benda atau bahan yang dapat menghasilkan atau menimbulkan garis-garis gaya magnet. Sehingga dapat menarik besi, baja, atau benda logam lainnya. Bumi sendiri merupakan sumber medan magnet alami yang membentang dari utara ke selatan. Selain bumi sebagai sumber medan magnet statik alami banyak sumber medan magnet statik lain yang diciptakan oleh manusia. Dan setiap daerah yang ada di bumi memiliki gangguan medan magnet yang berbeda-beda. Untuk mengukurnya diperlukan alat untuk menganalisa gangguan tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui fungsi dan prinsip kerja fluxgate Magnetometer
2. Mengetahui penginstalasian Fluxgate Magnetometer
3. Menganalisa data gangguan medan magnet pada stasiun magnet.

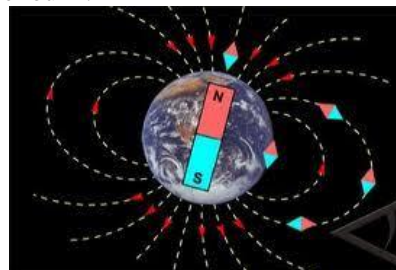
II. KAJIAN PUSTAKA

Medan Magnet Bumi

Medan magnet adalah daerah yang ada di sekitar magnet dimana obyek-obyek magnetic lain dapat terpengaruhi oleh gaya magnetisnya. Benda magnetic selalu mencoba untuk mengarahkan diri selaras dengan pengaruh medan magnet disekitarnya. Makin kuat daya magnetisnya yang dimiliki oleh suatu benda, maka makin luas pula cakupan medan magnetnya.

Bumi mempunyai sistem pertahanan yang dapat melindungi bumi dari radiasi matahari

misalnya ultraviolet. Lapisan tersebut dinamakan atmosfer bumi, Selain lapisan atmosfer yang tersusun dari atas gas-gas, bumi. Fungsi dari medan magnet bumi sebagai pelindung pancaran radiasi kosmik yang berasal dari luar angkasa. Medan magnetik bumi dapat memantulkan sebagian angin matahari, yaitu arus partikel bermuatan dari matahari yang mampu mengionisasikan lapisan atmosfer bumi.



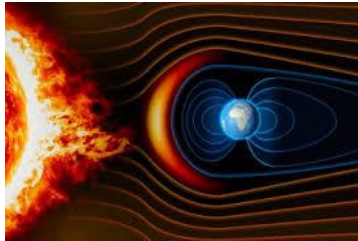
Gambar 1. Medan Magnet Bumi

Gangguan Medan Magnet

Badai magnet merupakan gangguan temporal pada magnetosfer akibat interaksi antara matahari dengan medan magnet bumi. Pada kondisi tertentu partikel bermuatan dapat masuk ke lingkungan bumi akibat gelombang kejut dari matahari. (Haryy Bangkit, 2015).

Badai matahari merupakan sumber gangguan magnet bumi yang luar biasa. Letusan plasma dan medan magnet berasal dari korona matahari dikenal sebagai coronal mass ejections (CME). CME adalah asal mula badai magnetic. Dalam perambatannya menuju atmosfer bumi, CME juga merupakan gerakan gelombang kejut (shock wave) karena plasma CME bergerak dengan kecepatan yang lebih besar dari pada kecepatan angin matahari yang bergerak

di sekitar plasma CME pada arah yang sama. Gelombang kejut CME menciptakan partikel energi matahari, yang merupakan partikel berenergi tinggi yang terdiri dari elektron dan ion angin korona dan matahari.

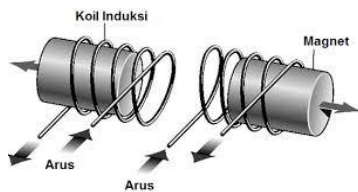


Gambar 2. Interaksi CME dengan magnet bumi

CME yang mengarah ke bumi tidak akan langsung mengenai permukaan bumi, melainkan akan terlebih dahulu berinteraksi dengan magnetosfer bumi. Saat CME menuju bumi, badai geomagnetik ini menciptakan gangguan yang mempengaruhi medan magnet bumi. Dibutuhkan sekitar dua sampai tiga hari setelah CME meluncur dari matahari dan menciptakan badai geomagnetik mencapai bumi dan mempengaruhi medan magnet bumi. (NERC, 1990).

Magnet kumparan induksi

Magnetometer kumparan induksi (search coil sensor, pickup coil sensor, magnetic antenna) adalah salah satu magnetometer tertua dan terkenal. Magnetometer kumparan induksi merupakan salah satu perangkat paling sederhana yang berfungsi untuk penginderaan medan magnet. Kumparan induksi merupakan fungsi transfer hasil dari hukum Faraday tentang induksi. Dimana bila ada suatu flux magnet yang melewati suatu koil akan menghasilkan tagangan yang proporsional (berbanding lurus) dengan perubahan flux.

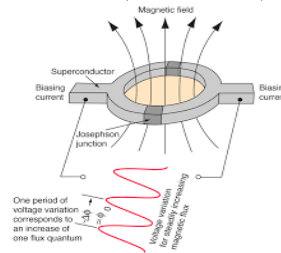


Gambar 3. Magnet kumparan induksi

Magnet SQUID

Magnetometer yang mempunyai prinsip berdasarkan SQUID atau Superconducting Quantum Interference Device saat ini merupakan instrument paling sensitive yang tersedia untuk mengukur kuat medan magnet. Magnetometer SQUID mengukur perubahan dalam medan magnet dari beberapa tingkat medan magnet, alat dengan tipe ini tidak secara intrinsik mengukur nilai absolut dari medan magnet. SQUID magnetometer dan gradiometer (mengukur variasi spasial dalam

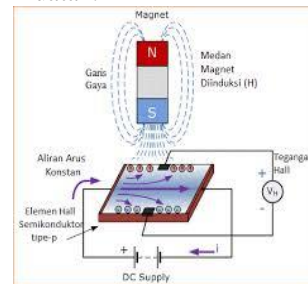
medan magnet) memiliki sensitivitas tinggi untuk mengukur medan magnet yang lemah yang dihasilkan oleh tubuh. (Erwin, 2012).



Gambar 4. Prinsip magnetometer SQUID

Efek Hall

Efek hall adalah konsekuensi dari hukum gaya Lorentz, yang menyatakan bahwa apabila muatan q bergerak, ketika ditindak lanjuti oleh medan induksi medan magnet B, akan memberi gaya bahwa F tegak lurus terhadap vector medan dan vector kecepatan v muatan.



Gambar 5. Sensor Efek Hall

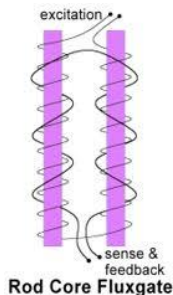
Efek Magnetoresisive

Suatu Efek magnetoresistive merupakan perubahan resistansi pada suatu ferromagnetic material yang disebabkan oleh adanya medan magnet eksternal. Material seperti permalloy (nikel dan besi) dapat digunakan sebagai sensor magnetoresistansi (sensor AMR, Anisotropic Magnetoresistance-AMR sensor). Selama pembuatan dari masing-masing elemen resistor AMR, medan magnet ditempatkan sepanjang strip plat untuk menarik dan membangun sumbu M. Arus I dilewatkan melalui film dari sumbu M atau anisotropic.

Fluxgate Magnetometer

Untuk Fluxgate magnetometer merupakan alat yang sering digunakan untuk mengukur medan magnet. Prinsip fluxgate magnetometer adalah dengan menggunakan dua buah inti material magnetis, seperti mumetal, permalloy, ferrite dan sebagainya. Sensor fluxgate adalah sensor medan magnet yang bekerja berdasarkan perubahan flux magnetic yang terjadi di sekitar elemen sensor. (Kamus, 2010)

Sensor fluxgate adalah sensor magnetik yang bekerja berdasar perubahan flux magnetik disekitar elemen sensor (Yulkifli, 2014) dengan cara membangkitkan medan referensi sebagai pembanding dengan medan magnet luar.



Gambar 7. Sensor magnet fluxgate

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif. Jenis penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif, yang menurut Sugiyono (2009) dikatakan metode kuantitatif karena data penelitian berupa angka – angka dan analisis menggunakan statistik. Metode kuantitatif digunakan apabila masalah merupakan penyimpangan antara yang seharusnya dengan yang terjadi, antara aturan dengan pelaksanaan.

Teknik pengambilan sample pada penelitian ini menggunakan teknik sampling dimana dari data penyulang Lomanis 06 tersebut diacak salah satu untuk dilakukan pengambilan data hasil uji kalayakan dari uji yang sudah dilakukan.

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik observasi, metode wawancara dan metode dokumentasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum

Penyulang Variometer adalah sistem yang dapat mengukur variasi medan magnet bumi. Variometer terdiri dari sebuah sensor dan digitizer. Sensor pada variometer disebut dengan sensor fluxgate. Di stasiun sensor fluxgate diletakan di dalam ruangan khusus yang terbuat dari material non logam sehingga yang diharapkan hanya medan magnet alami yang terdeteksi.

Spesifikasi

Jaringan Variometer merupakan sistem yang terdiri dari sensor fluxgate magnetometer model FGE No. S0407 dan digitizer fluxgate magnetometer Model FGE . Sensor yang digunakan adalah Fluxgate sensor Model FGE No. S0407.



Gambar 8. Fluxgate sensor Model FGE No.S0407

Spesifikasi fluxgate sensor adalah sebagai tipe Fluxgate sensor Model FGE No.S0407 Sensitifitas
X-sensor : 37214 nT/mA
Y-sensor : 37090 nT/mA
Z-sensor : 37133 nT/mA



Gambar 9. Digitizer fluxgate magnetometer Model FGE

Digitizer fluxgate magnetometer tipe: FGE analog output: ± 10 v. Analog dynamic range :Approx.± 3200 nT Range of bias : ±76000 nT for X dan Z, ±38000 nT for Y Bias step : 150 nT (step not calibrated) Misalignment of sensors : < 2 mrad (7 min of arcs) Long term drift : < 3 nT/year. Temp. Coeff : <0.25 nT/°C. Band pass : DC to 1 Hz Temp. Sensor output : 10 mV/°K

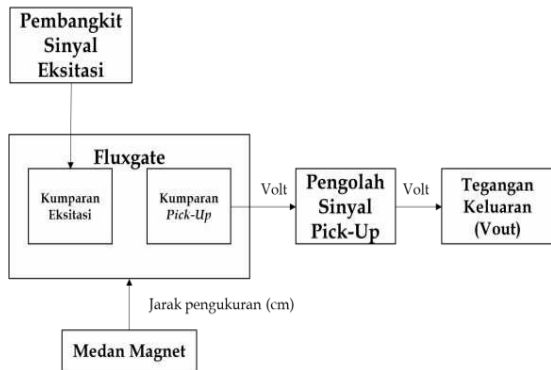
Prinsip kerja

Variometer adalah sebuah perangkat yang terdiri dari digitizer dan sensor. Sensor variometer disebut dengan fluxgate sensor. Fluxgate sensor memiliki tiga komponen yang berfungsi untuk mengukur komponen arah utara-selatan, arah timur-barat, dan arah vertikal. Komponen tersebut terdiri dari tiga lilitan atau sering disebut dengan istilah coil.



Gambar 10. Coil pada sensor fluxgate

Pada dasarnya fluxgate sensor menggunakan prinsip induksi magnetik. Prinsip kerja fluxgate sensor dapat dilihat pada gambar 11.

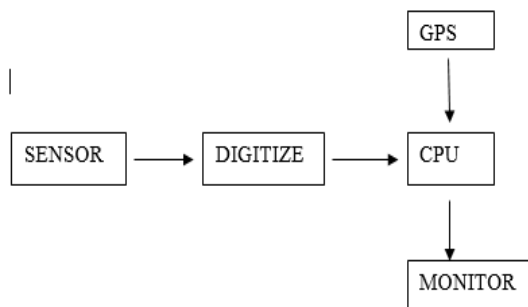


Gambar 11. Prinsip kerja fluxgate

Ketika terjadi gangguan geomagnetik, fluxgate sensor akan mengeluarkan tegangan berupa sinyal analog. Berikut adalah jalannya tagangan pada fluxgate sensor:

- Tegangan yang diberikan pada lilitan primer.
- Kerapatan fluks akibat arus lilitan primer, tanpa adanya medan magnet luar.
- Tegangan induksi tanpa adanya medan luar, pada lilitan sekunder.
- Tegangan induksi dengan adanya pengaruh medan magnet luar pada lilitan 1 (v_1)
- Tagangan induksi dengan adanya pengaruh medan luar pada lilitan 2 (v_2)
- Resultan v_1 dan v_2

Perhitungan Blok diagram dan sistem kerja



Gambar 12. Blok diagram kerja magnetometer

Dari blok diagram di atas, fluxgate sensor dihubungkan ke digitizer, lalu digitizer dan GPS dihubungkan ke CPU sehingga output dapat ditampilkan melalui layar monitor. Fluxgate sensor dialiri arus bersumber dari power suplay yang ada pada digitizer. Untuk mendapatkan stabilitas terbaik fluxgate sensor model FGE No. S0407 dipasang distasiun yang suhunya telah dikontrol pada range -10°C s/d 20°C. Di dalam digitizer terdapat tiga rangkaian, yaitu rangkaian power suplay, rangkaian amplifier dan rangkaian filter serta sebuah ADC. Adapun gambar bagian dari digitizer fluxgate magnetometer.



Gambar 13. Bagian-bagian digitizer

Keterangan:

- Rangkaian filter,
- Rangkaian amplifier,
- Rangkaian power suplay,
- ADC

Pada digitizer, output tegangan berupa sinyal analog dikuatkan melalui rangkaian amplifier yang kemudian tegangan tersebut difilter pada rangkaian filter. Pada ADC sinyal analog diubah menjadi sinyal digital. Kemudian sinyal digital dibaca oleh CPU. Sinyal digital dibaca oleh CPU yang telah dihubungkan pada GPS. GPS berfungsi sebagai penanda waktu pada data. Sehingga data yang terekam pada fluxgate sensor setelah diubah dari sinyal analog menjadi sinyal digital tersinkron oleh penanda waktu yang didapat melalui GPS. Output rekaman data variasi medan magnet dapat dilihat melalui layar monitor yang sudah dihubungkan pada CPU.

Penginstalasian alat

Langkah –langkah instalasi alat fluxgate magnetometer adalah sebagai berikut:

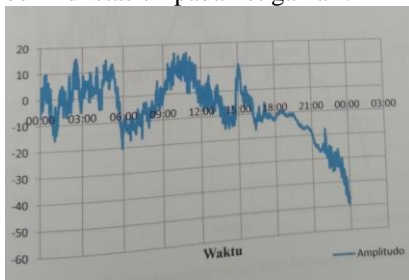
- Persiapkan seluruh bagian dari alat yaitu fluxgate sensor, digitizer, GPS, CPU dan monitor
- Sambungkan seluruh kabel penghubung yang terdapat pada digitizer dan sensor
- Instalasi pada sensor magnet
 - Letakan sensor magnet pada area yang datar, jauh dari aktivitas manusia dan sangat dianjurkan diletakan pada ruangan yang bebas dari bahan magnetik seperti besi, baja dan logam
 - Lakukan leveling dengan cara mengatur ketiga kaki tripod sampai waterpass menunjukkan telah level.
 - Atur petunjuk utara pada alat yang ditunjukkan oleh stiker tanda panah ke arah utara sebenarnya.
 - Untuk mencari arah utara sebenarnya pada suatu lokasi diperlukan kompas dan nilai sudut deklansi pada lokasi tersebut.
- Letakan antena GPS pada CPU lalu berikan catu daya.

5. Setelah sensor fluxgate diseting sambungkan port VGA digitizer ke CPU
6. Akan ditampilkan data pada monitor berupa nilai dari komponen X, Y, Z, tanggal dan data suhu yang akan otomatis berubah setiap detik dan tersimpan pada memori berupa nilai pembacaan sensor.

Analisis data

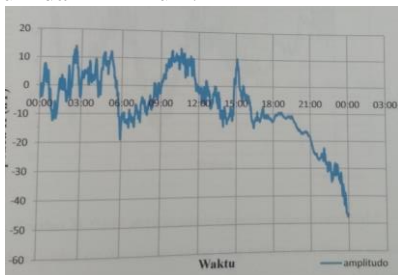
Pada analisa kali ini diambil data pada arsip instasi variasi medan magnet pada stasiun magnetometer yang ada di Tangerang. Dari data tersebut didapatkan nilai gangguan medan magnet pada stasiun.

Didapatkan grafik pengukuran aktivitas medan magnet bumi di stasiun pada ketiga hari.



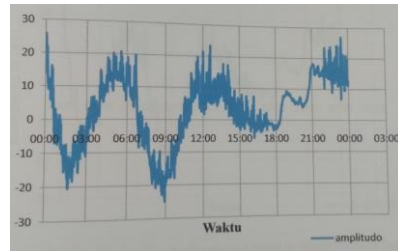
Gambar 14. Grafik aktivitas medan

Magnet terpengaruh noise hari pertama. Dilihat pada gambar diatas terlihat bahwa line pada grafik tersebut memiliki range yang cukup lebar, ini dikarenakan data yang didapat terpengaruh noise. Untuk menghilangkan noise pada grafik tersebut maka diberi perlakuan khusus dengan menggunakan moving average. Moving average berfungsi menghilangkan noise yang ada pada grafik, sehingga mempermudah pembacaan nilai maximum dan minimum.



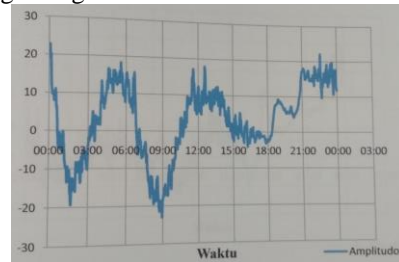
Gambar 15. Grafik aktivitas medan magnet tanpa noise hari pertama

Dilihat pada grafik diatas perbedaan sebelum dan sesudah grafik diberi perlakuan khusus menggunakan moving average. Perbedaannya adalah line pada grafik diatas lebih jelas. Hal ini dikarenakan noise pada data telah dibersihkan sehingga line yang di dapat lebih jelas



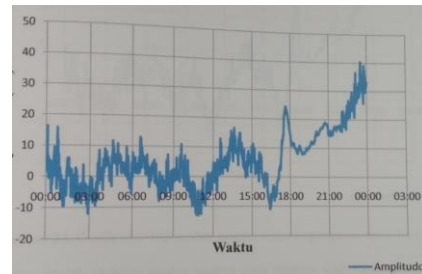
Gambar 16. Grafik aktivitas medan magnet terpengaruh noise hari kedua

Grafik diatas adalah aktivitas medan magnet yang terekam oleh fluxgate sensor di stasiun tangerang pada hari kedua terpengaruh noise. Indeks-K adalah indikator tingkat gangguan aktivitas geomagnet.



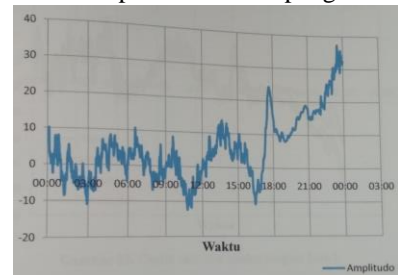
Gambar 17. Grafik aktivitas medan magnet tanpa noise hari kedua

Grafik diatas adalah aktivitas medan magnet di stasiun Tangerang pada hari kedua yang tidak terpengaruh noise.



Gambar 18. Grafik aktivitas medan magnet terpengaruh noise hari ketiga

Grafik diatas nilai maximum dan minimum aktivitas medan magnet sulit ditemukan. Hal ini dikarenakan data pada stasiun terpengaruh noise.



Gambar 19. Grafik aktivitas medan magnet tanpa noise hari ketiga

Grafik diatas adalah aktivitas medan magnet yang terekam oleh fluxgate sensor tanpa terpengaruh noise pada hari ketiga.

Adapun tabel hasil analisa data medan magnet pada hari pertama.

Stasiun	Nilai	Timer								
		00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-00:00	
Tangerang	Max(nT)	14	12	13	14	10	10	-9	-19	
	Min(nT)	-12	-19	-15	-8	-15	-15	-27	-48	
	Range	26	31	28	22	25	25	36	67	
	K	3	3	3	3	3	3	3	4	

Gambar 20. Tabel variasi medan magnet pada hari pertama

Pada tabel diatas range terbesar pada jam 21:00 - 00:00 waktu UTC. Nilai maximum dan minimum waktu tersebut secara berurutan adalah -19nT dan -48nT, sehingga nilai range yang didapat sebesar 67. Range tersebut dikonversi kedalam skala K-indeks masuk kedalam skala 4. Sedangkan untuk range terkecil pada jam 09:00 - 12:00 waktu UTC. Nilai maksimum dan minimum pada waktu tersebut berturut-turut adalah 14nT dan -8nT, sehingga nilai range yang didapat sebesar 22. range tersebut dikonversikan kedalam skala K-indeks masuk kedalam skala 3. Namun dari rata-rata skala K-indeks yang didapat dihari tersebut sebesar 3,125. Skala K-indeks tersebut dapat dikategorikan ke dalam quite days.

Stasiun	Nilai	Timer								
		00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-00:00	
Tangerang	Max(nT)	13	18	16	18	18	9	19	22	
	Min(nT)	-19	-6	-23	-17	0	0	0	0	
	Range	32	24	39	35	18	9	19	22	
	K	3	3	3	3	2	1	2	3	

Gambar 20. Tabel Variasi medan magnet pada hari kedua

Pada tabel diatas range terbesar pada jam 06:00 - 09:00 waktu UTC. Nilai maksimum dan minimum waktu tersebut secara berurutan adalah 16 nT dan -23nT, sehingga nilai range yang didapat sebesar 39. Range tersebut dikonversikan kedalam skala K-indeks masuk kedalam skala 3. Sedangkan untuk range terkecil pada jam 15:00 - 18:00 waktu UTC. Nilai maksimum dan minimum pada waktu tersebut adalah 9nT dan 0nT, sehingga nilai range yang didapat sebesar 9. Range tersebut dikonversikan kedalam skala K-indeks masuk kedalam skala 1. Namun dari rata-rata skala K-indeks yang didapat dihari tersebut sebesar 2,5. Skala K-indeks tersebut dapat dikategorikan ke dalam quite days.

Stasiun	Nilai	Timer								
		00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-00:00	
Tangerang	Max(nT)	10	11	11	9	14	24	19	37	
	Min(nT)	-11	-7	-7	-12	-3	-11	-8	-15	
	Range	21	18	18	21	17	35	27	52	
	K	3	2	2	3	2	3	3	4	

Gambar 21. Tabel Variasi medan magnet pada hari ketiga

Pada tabel diatas range terbesar pada jam 21:00 - 00:00 waktu UTC. Nilai maksimum dan minimum waktu tersebut adalah 37nT dan -15nT, sehingga nilai range yang didapat sebesar 52. Range tersebut telah dikonversi ke dalam skala K-indeks masuk kedalam skala 4. Sedangkan untuk range terkecil pada jam 12:00 - 15:00 waktu UTC. Nilai maksimum dan minimum pada waktu tersebut adalah 14nT dan -3nT, sehingga nilai range yang didapat sebesar 17. Range tersebut dikonversi kedalam skala K-indeks masuk kedalam skala 2. Namun dari rata-rata skala K-indeks yang didapat dihari tersebut pada stasiun Tangerang sebesar 2,75. Skala K-indeks tersebut dapat dikategorikan ke dalam quite days.

PENUTUP

Fluxgate magnetometer adalah sensor pendeteksi gangguan medan magnet, maka dari hasil pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut, yaitu:

1. Prinsip kerja Fluxgate magnetometer yaitu apabila lilitan primer diberi arus maka pada lilitan sekunder akan timbul arus induksi yang berlawanan arah. Dan ketika terjadi gangguan medan magnet maka salah satu dari kumparan akan mengalami flux magnet yang lebih besar dari yang lainnya, dalam setengah gelombang berikutnya lilitan mengalami flux magnet tambahan berganti dengan lilitan kedua. Dengan demikian pada saat yang sama kedua lilitan mempunyai pulsa yang berbeda, dan keluaran dari lilitan sekunder merupakan pulsa tegangan yang berasal dari selis flux yang ditimbulkan lilitan primer. Tinggi pulsa sebanding dengan medan magnet luar yang mempengaruhinya.
2. Dalam penginstalasian terdapat alat yang dibutuhkan yaitu sensor fluxgate, digitizer, GPS, CPU, dan Monitor. Dalam peletakan sensor, sensor harus berada di area yang datar, jauh dari aktivitas manusia dan sangat dianjurkan diletakan pada ruangan yang bebas dari bahan magnetik seperti besi, baja dan logam. Dan lakukan leveling dengan cara mengatur ketiga kaki tripod sampai waterpass menunjukkan telah level. Lalu Atur petunjuk

- utara pada alat yang ditunjukkan oleh stiker tanda panah ke arah utara sebenarnya.
3. Pada analisa gangguan medan magnet di stasiun magnetometer Tangerang yang dihasilkan kurang baik, ini dikarenakan data yang diambil oleh fluxgate sensor yang terpasang pada stasiun tersebut terpengaruh noise yang disebabkan oleh pemukiman yang padat dan kendaraan lalu lintas yang lalu lalang.

DAFTAR PUSTAKA

- Erwin, Y. (2012). Pengukuran dan instrumentasi pada sistem tenaga ep6071 pengukuran medan magnet. Bandung.
- Gubbins, e. a. (2007). *Ensilopedia of geomagnetism and paleomagnetic sm.* Springer: The Netherlands.
- Haryy Bangkit, M. R. (2015). Kaibrasi Magnetometer Tipe1540 Menggunakan Kalibrator Magnetometer. Pusat Sains Antariksa, vol 16 no.2.
- Ivan Limansyah, M. D. (2003). Penggunaan Sensor Fluxgate Harmonisa Kedua Untuk Mengukur Medan Magnetik Searah Dua Dimensi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 5 no. 1.
- Kamus, Z. (2010). *Analisa Rangkaian Elektronika Magnetometer Berbasis Sensor Fluxgate Tiga Dimensi.* Eksakta, vol.2.
- Kearey, P. e. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration Third Edition.* Abingdon, oxon: Blackwell Science LTD.
- NERC. (1990). *Geomagnetic Disturbance.* Pricenta,NJ.
- Putra, R. A. (2014). Prototipe magnetometer digital dengan sensor HMCL5883L berbasis mikrokontroler. Jakarta.
- Roby Tristianoro, E. R. (2018). Perancangan Sensor Fluxgate Sederhana Sebagai Magnetometer. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol 07 .
- Yulkifli, A. M. (2014). Teknik Pembuatan Sensor Fluxgate Menggunakan Teknologi Printed Circuit Board (PCB). *EKSAKTA*, vol 2.