

MODEL EMPIRIS HARI TENANG VARIASI MEDAN GEOMAGNET DI STASIUN GEOMAGNET TONDANO MANADO

EMPIRICAL MODEL OF QUIET DAILY GEOMAGNETIC FIELD VARIATION AT THE TONDANO MANADO GEOMAGNET STATION

Lukman Arifin dan John Maspupu

Pussainsa LAPAN, Jl. Dr. Djundjuran No. 133 Bandung 40173,
Tlp. 0226012602 Pes. 106. Fax. 0226014998
E-mail: lukman@mgi.esdm.go.id dan john_mspp@yahoo.com

Diterima : 02-09-2013, Disetujui : 15-02-2014

ABSTRAK.

Penentuan model empiris hari tenang variasi medan geomagnet dikonstruksi berdasarkan data geomagnet dari stasiun geomagnet (SG) Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tondano, Manado. Hari tenang variasi medan geomagnet dinyatakan sebagai fungsi dari keempat komponen atau variabel yang mempengaruhinya yaitu: aktivitas matahari SA (*solar activity*), hari dalam setahun DOY (*date of year*), usia bulan LA (*lunar age*) dan waktu lokal LT (*local time*). Dalam bentuk matematis ditulis sebagai, $EM_{QD} (SA, DOY, LA, LT) = f(SA). g(DOY). h(LA). m(LT)$. Model empiris yang didasarkan pada fungsi kecocokan ini terdiri dari 270 bentuk ekspresi matematik. Sedangkan bentuk-bentuk ekspresi matematik ini juga mencakup proses-proses non-linier yang tak dapat diabaikan dalam model empiris hari tenang variasi medan geomagnet tersebut. Model empiris ini dapat ditiru atau dikonstruksi kembali pada suatu selang waktu yang relatif panjang (misalnya satu siklus matahari), asalkan kondisi geomagnet selalu berada dalam keadaan tenang. Kontribusi dari model empiris hari tenang ini akan memberikan informasi tentang gangguan geomagnet yang ada di stasiun geomagnet Tondano (Nilai Gangguan geomagnet = Nilai variasi medan geomagnet yang terukur – Nilai model empiris hari tenang). Dengan demikian model ini akan memberikan informasi gangguan geomagnet untuk operasi survey geomagnet disekitar stasiun geomagnet Tondano, Manado.

Kata kunci : Model empiris, Hari tenang, Variasi medan geomagnet.

ABSTRACT

The determination an empirical model of the quiet daily geomagnetic field variation that is constructed based on geomagnetic data from Tondano, Manado station geomagnetic This quiet daily of geomagnetic field variation was described as a function of four variables that its influence, these are solar activity (SA), day of year (DOY), lunar age (LA) and local time (LT). In the mathematically writes: $EM_{QD} (SA, DOY, LA, LT) = f(SA). g(DOY). h(LA). m(LT)$. The empirical model based on this fitting function consist of 270 coefficients which included in expression form of mathematic. While, expression form of this mathematic also comprise nonlinear processes which can not minimized in the empirical model of the quiet daily geomagnetic field variation. This empirical model can be reconstructed on the time interval that is long relative (for example one solar cycle). Provided that, under geomagnetic quiet conditions. Contribution of this empirical model of the quiet daily variation is can give information about the existence of geomagnetic disturbance at Tondano (value of geomagnetic disturbance equal value of measurable geomagnetic field variation minus value of empirical model of the quiet daily variation). Thus, information about the existence of this geomagnetic disturbance very useful for necessity geomagnetic survey at Tondano, Manado geomagnetic station.

Keywords: Empirical model, the quiet daily variation, geomagnetic field variation.

PENDAHULUAN

Stasiun pengamatan geomagnet (SG) yang terletak di stasiun geofisika Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tondano, Manado terletak pada koordinat 1,30° LU-124,93°BT. Data dari stasiun geomagnet ini sangat dibutuhkan sebagai nilai koreksi variasi harian terhadap perhitungan anomali intensitas magnet total pada survei geomagnet. Gangguan geomagnet sering kali tidak dapat diketahui secara langsung. Untuk mengetahui adanya gangguan geomagnet dibuat model-model empiris. Model-model yang diperoleh diharapkan akan memberikan kontribusi informasi gangguan geomagnet untuk operasi survey geomagnet dan di setiap stasiun geomagnet LAPAN di wilayah Indonesia.

Dari penelitian sebelumnya telah diketahui bahwa terdapat hubungan linier antara hari tenang variasi medan geomagnet (ΔH) dengan aktivitas matahari $F10.7$, pada tingkat kepercayaan (*level of confidence*) sebesar 95 % (Maspupu dan Setyanto, 2012). Sedangkan wujud hubungannya dapat dinyatakan sebagai $\Delta H = a_1 F10.7 + a_2$. Begitu pula studi peneliti yang sama telah menunjukkan bahwa terdapat hubungan parsial secara fisis antara hari tenang variasi medan geomagnet (ΔH) dengan beberapa komponen yang dapat mempengaruhinya, antara lain: hari dalam setahun (DOY)(Campbell, 1989b), usia bulan (LA) dan waktu lokal (LT) (Yamazaki, 2011). Selain itu dengan menggunakan data komponen H dari SG Tondano dapat dibentuk ketiga hubungan parsial hari tenang variasi medan geomagnet (ΔH) yang masing-masing merupakan fungsi dari variabel DOY , variabel LA dan variabel LT walaupun kontribusi dari variabel-variabel DOY , LA terhadap hari tenang variasi medan geomagnet (ΔH) sangat kecil (Maspupu dan Setyanto, 2014). Dengan mempertimbangkan beberapa referensi di atas, timbullah pemikiran untuk menentukan suatu model empiris hari tenang variasi medan geomagnet EM_{QD} di stasiun geomagnet Tondano. Oleh karena itu jelas tujuan akhir pembahasan makalah ini adalah untuk menentukan model empiris hari tenang variasi medan geomagnet. Namun yang menjadi masalah adalah bagaimana mengkaji serta membentuk model empiris tersebut. Untuk mengantisipasi masalah ini diperlukan suatu metodologi yang melibatkan konsep matematik, dengan fokus pada fungsi peubah banyak (*multivariable functions*). Selain itu kontribusi dari hasil ini akan digunakan untuk menentukan gangguan variasi medan geomagnet di stasiun geomagnet Tondano.

METODOLOGI

Model empiris ini didasarkan pada fungsi kecocokan (*fitting function*) yang dinyatakan sebagai fungsi peubah banyak (*multivariable functions*) dari SA , DOY , LA dan LT . Sehingga dengan demikian model empiris hari tenang variasi medan geomagnet EM_{QD} dapat dinyatakan sebagai hasil kali (*product*) dari model-model parsial sebelumnya (Maspupu dan Setyanto, 2012) dan (Maspupu dan Setyanto, 2014).

Atau dalam bahasa matematis ditulis sebagai berikut:

$$EM_{QD} (SA, DOY, LA, LT) = f(SA). g(DOY). h(LA).m(LT) \quad \dots\dots(1)$$

Model empiris ini juga merupakan fungsi dengan empat variabel (SA, DOY, LA, LT) yang terdiri dari 270 koefisien yaitu $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{270})$. Sedangkan $f(SA) = a_2 SA + a_1$

atau ekuivalen dengan $\Delta H_{LT=12} = a_2.F_{10.7} + a_1 \quad \dots\dots(2)$

$$g(DOY) = b_1 + \sum_{k=1}^2 [b_{2k} \cos(2\pi k \cdot \frac{DOY}{365}) + b_{2k+1} \sin(2\pi k \cdot \frac{DOY}{365})] \quad \dots\dots(3)$$

$$h(LA) = c_1 + c_2 \cos(2\pi \cdot \frac{2LA}{28}) + c_3 \sin(2\pi \cdot \frac{2LA}{28}) \quad \dots\dots(4)$$

$$m(LT) = d_1 + \sum_{k=1}^4 [d_{2k} \cos(2\pi k \cdot \frac{LT}{24}) + d_{2k+1} \sin(2\pi k \cdot \frac{LT}{24})] \quad \dots\dots(5)$$

Dalam hal ini $a_i, i=1, 2, \dots$; $b_j, j=1, 2, \dots, 5$; $c_b, k=1, 2, 3$ dan $d_l, l=1, 2, \dots, 9$.

Dengan demikian koefisien-koefisien ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{270}$) merupakan kombinasi dari a_i , b_j , c_k , dan d_l di atas. Selanjutnya prosedur untuk memperoleh koefisien-koefisien ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{270}$) (Kakinami, et. al, 2009).

Sedangkan data yang digunakan dalam kasus penelitian ini adalah data medan geomagnet (komponen H saja) dari stasiun geomagnet Tondano dan dipilih pada hari-hari yang telah memenuhi kriteria $Kp \leq 2^+$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan makalah ini difokuskan pada studi kasus penelitian dengan mengambil lokasi di stasiun geomagnet Tondano. Data yang digunakan dalam kasus penelitian ini adalah data medan geomagnet (komponen H rata-rata jam) dengan kriteria $Kp \leq 2^+$. Data komponen H ini dipilih pada hari-hari yang telah memenuhi $Kp \leq 2^+$ sebanyak 365 (tiga ratus enam puluh lima) hari mulai dari tanggal 27 Januari 2010 sampai dengan tanggal 18 Desember 2011. Selanjutnya hasil-hasil pengamatan maupun perhitungan dari bagian metodologi ini dapat dilihat dalam Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 1. Data observasi komponen H tiap jam dengan kriteria $K_p \leq 2^+$ sebanyak 365 hari.

No	Date Time	Komp H
1	2010012700	39308.95
2	2010012701	39309.67
3	2010012702	39309.48
4	2010012703	39309.22
5	2010012704	39309.14
6	2010012705	39310.81
7	2010012706	39312.89
8	2010012707	39316.1
9	2010012708	39322.87
10	2010012709	39332.17
11	2010012710	39337.54
12	2010012711	39345.17
13	2010012712	39345.54
14	2010012713	39338.27
15	2010012714	39120.62
16	2010012715	39179.55
17	2010012716	38856.86
18	2010012717	38960.48
19	2010012718	39181.24
20	2010012719	39181.98
21	2010012720	39183.64
22	2010012721	39181.78
23	2010012722	39180.36
24	2010012723	39181.1
25	2010012800	39182.08
26	2010012801	39182.69
27	2010012802	39183.17
28	2010012803	39182.85
29	2010012804	39184.1
30	2010012805	39182.81
31	2010012806	39183.67
32	2010012807	39186.35
33	2010012808	39192.79
34	2010012809	39202.95
35	2010012810	39203.38
36	2010012811	39204.4
37	2010012812	39205.22
38	2010012813	39205.17
39	2010012814	39201.1
40	2010012815	39191.32
41	2010012816	39185.58
42	2010012817	39185.25
43	2010012818	39187.37
44	2010012819	39188.58

45	2010012820	39188.43
46	2010012821	39183.42
47	2010012822	39181.69
48	2010012823	39181.67
...
8713	2011121700	39207.45
8714	2011121701	39208.42
8715	2011121702	39209.1
8716	2011121703	39208.67
8717	2011121704	39208.48
8718	2011121705	39208.73
8719	2011121706	39210.84
8720	2011121707	39218.31
8721	2011121708	39229.84
8722	2011121709	39242.99
8723	2011121710	39249.7
8724	2011121711	39256.14
8725	2011121712	39255.91
8726	2011121713	39242.74
8727	2011121714	39228.43
8728	2011121715	39216.21
8729	2011121716	39212.31
8730	2011121717	39212.43
8731	2011121718	39210.81
8732	2011121719	39209.33
8733	2011121720	39208.25
8734	2011121721	39206.3
8735	2011121722	39204.53
8736	2011121723	39205.86
8737	2011121800	39207.1
8738	2011121801	39208.01
8739	2011121802	39209.06
8740	2011121803	39210.2
8741	2011121804	39211.8
8742	2011121805	39210.81
8743	2011121806	39210.9
8744	2011121807	39215.72
8745	2011121808	39221.45
8746	2011121809	39231.94
8747	2011121810	39242.04
8748	2011121811	39250.92
8749	2011121812	39251.5
8750	2011121813	39242.3
8751	2011121814	39229.3
8752	2011121815	39217.66
8753	2011121816	39208.73
8754	2011121817	39203.55
8755	2011121818	39202.8
8756	2011121819	39204.33

8757	2011121820	39205.18
8758	2011121821	39205.94
8759	2011121822	39206.24
8760	2011121823	39206.85

Tabel 2. Pemisahan data baseline BL dan variasi pada jam 14 dan $\Delta H(LT)$ sebanyak 365 hari.

No	Date Time	$\Delta H(14)$	BL
1	20100127	-187.666	39308.28
2	20100128	19.0622	39182.04
3	20100129	10.3542	39178.01
4	20100130	15.2812	39182.97
5	20100131	-3.3972	39181.53
6	20100205	27.5258	39177.61
7	20100206	18.4132	39178.99
8	20100209	13.1844	39187.08
9	20100210	17.4266	39181.62
10	20100211	20.5953	39174.59
11	20100213	18.9076	39168.92
12	20100214	21.8862	39170.75
13	20100220	31.7227	39180.08
14	20100221	19.4703	39185.9
15	20100222	9.2975	39187
...
350	20111120	19.6146	39204.21
351	20111121	10.8637	39203.21
352	20111126	15.3711	39198.09
353	20111127	17.0519	39200.14
354	20111128	21.041	39189.36
355	20111202	26.0174	39185.63
356	20111205	36.3134	39190.25
357	20111206	25.0062	39197.78
358	20111207	12.7002	39202.76
359	20111208	25.1604	39205.67
360	20111209	9.2041	39205.49
361	20111214	5.6545	39199.52
362	20111215	12.6233	39201.15
363	20111216	10.9082	39204.45
364	20111217	20.6588	39207.77
365	20111218	21.8352	39207.46

Tabel 3. Data perhitungan $\Delta H(LT)$ sebanyak 28 hari yang telah diacak.

No	Date Time	$\Delta H(LT)$
1	2010020900	0.7326
2	2010020901	0.0727
3	2010020902	0.3453
4	2010020903	0.0647

5	2010020904	2.2113
6	2010020905	5.8055
7	2010020906	10.9409
8	2010020907	15.7065
9	2010020908	19.538
10	2010020909	28.2874
11	2010020910	33.6596
12	2010020911	36.0021
13	2010020912	33.9245
14	2010020913	24.0254
15	2010020914	13.1843
16	2010020915	6.3081
17	2010020916	1.6904
18	2010020917	-0.996
19	2010020918	0.1981
20	2010020919	-0.7012
21	2010020920	0.31
22	2010020921	-1.6969
23	2010020922	-3.8575
24	2010020923	-4.0393
25	2010030500	-0.1788
26	2010030501	4.5255
27	2010030502	7.9067
28	2010030503	9.8644
29	2010030504	11.4036
30	2010030505	13.2011
31	2010030506	17.0269
32	2010030507	24.1123
33	2010030508	35.3872
34	2010030509	43.7767
35	2010030510	54.5213
36	2010030511	59.6669
37	2010030512	57.4076
38	2010030513	44.0352
39	2010030514	29.2203
40	2010030515	16.2467
41	2010030516	13.938
42	2010030517	8.073
43	2010030518	3.8438
44	2010030519	-0.5876
45	2010030520	-1.0813
46	2010030521	4.8609
47	2010030522	7.5873
48	2010030523	7.1768
...
625	2012041100	1.0375
626	2012041101	-2.3993
627	2012041102	0.8444
628	2012041103	1.6159

629	2012041104	2.1159
630	2012041105	0.0982
631	2012041106	-3.0369
632	2012041107	5.4857
633	2012041108	24.8216
634	2012041109	48.6974
635	2012041110	71.3807
636	2012041111	82.2724
637	2012041112	73.336
638	2012041113	61.144
639	2012041114	48.4902
640	2012041115	34.0578
641	2012041116	17.8583
642	2012041117	0.2597
643	2012041118	-0.8654
644	2012041119	0.0499
645	2012041120	0.8469
646	2012041121	2.5374
647	2012041122	2.1512
648	2012041123	1.0725
649	2012061300	-0.4298
650	2012061301	-1.0199
651	2012061302	1.9732
652	2012061303	3.7272
653	2012061304	5.0249
654	2012061305	9.2392
655	2012061306	16.8313
656	2012061307	27.7266
657	2012061308	42.409
658	2012061309	63.9539
659	2012061310	66.8371
660	2012061311	61.4654
661	2012061312	44.0094
662	2012061313	34.8421
663	2012061314	23.2275
664	2012061315	10.7795
665	2012061316	13.6377
666	2012061317	20.0668

667	2012061318	18.2658
668	2012061319	13.2415
669	2012061320	12.005
670	2012061321	12.0758
671	2012061322	12.5514
672	2012061323	15.1533

Tabel 4. Data perhitungan $\Delta H(LT)$ sebanyak 24 Jam (dalam 1 hari yang telah diacak).

No	Date Time	$\Delta H(LT)$
1	2010051500	-2.079
2	2010051501	-3.0842
3	2010051502	1.2019
4	2010051503	2.0132
5	2010051504	3.3082
6	2010051505	4.7459
7	2010051506	7.3928
8	2010051507	13.9983
9	2010051508	22.4914
10	2010051509	28.6858
11	2010051510	16.5545
12	2010051511	8.6369
13	2010051512	7.992
14	2010051513	-2.1803
15	2010051514	-12.73
16	2010051515	-22.2609
17	2010051516	-24.1378
18	2010051517	-21.949
19	2010051518	-18.605
20	2010051519	-16.2129
21	2010051520	-16.0972
22	2010051521	-17.2966
23	2010051522	-17.1086
24	2010051523	-15.8756

Telah ditunjukkan dalam (Maspupu dan Setyanto, 2012) dan (Maspupu dan Setyanto, 2014) bahwa variasi hari tenang (ΔH) bergantung linier terhadap aktivitas matahari $F10.7$. Ini berarti (ΔH) dapat digunakan sebagai fungsi orde satu dari variabel aktivitas matahari $F10.7$. Sedangkan untuk variasi musiman (DOY) diperlukan fungsi Fourier orde dua dan dibutuhkan fungsi Fourier orde satu untuk variasi usia bulan (LA). Demikian juga untuk variasi waktu lokal (LT) diperlukan fungsi Fourier orde empat. Oleh karena itu fungsi-fungsi untuk setiap variasi tersebut di atas dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$f(x) = a_2x + a_1, \quad x \text{ adalah variabel aktivitas matahari } F10.7.$$

$$= a_1 f'_1 + a_2 f'_2 = \sum_{i=1}^2 a_i f'_i .$$

$$g(y) = b_1 + \sum_{k=1}^2 [b_{2k} \cos(2\pi k \cdot \frac{y}{365}) + b_{2k+1} \sin(2\pi k \cdot \frac{y}{365})], \quad y \text{ adalah } DOY.$$

$$= b_1 g'_1 + b_2 g'_2 + b_3 g'_3 + b_4 g'_4 + b_5 g'_5 = \sum_{j=1}^5 b_j g'_j .$$

$$h(z) = c_1 + c_2 \cos(2\pi \cdot \frac{2z}{28}) + c_3 \sin(2\pi \cdot \frac{2z}{28}), \quad z \text{ adalah } LA .$$

$$= c_1 h'_1 + c_2 h'_2 + c_3 h'_3 = \sum_{k=1}^3 a_{ki} h'_k .$$

$$m(w) = d_1 + \sum_{k=1}^4 [d_{2k} \cos(2\pi k \cdot \frac{w}{24}) + d_{2k+1} \sin(2\pi k \cdot \frac{w}{24})] , \quad w \text{ adalah } LT.$$

$$= d_1 m'_1 + d_2 m'_2 + d_3 m'_3 + d_4 m'_4 + d_5 m'_5 + d_6 m'_6 + d_7 m'_7 + d_8 m'_8 + d_9 m'_9 = \sum_{l=1}^9 d_l m'_l .$$

Dalam hal ini koefisien-koefisien $a_i, i=1, 2, \dots$; $b_j, j=1, 2, \dots, 5$; $c_k, k=1, 2, 3$ dan $d_l, l=1, 2, \dots, 9$ dapat dilihat pada Tabel 5 (kompilasi koefisien-koefisien model parsial) dan wujud fungsi-fungsi f'_i, g'_j, h'_k, m'_l dapat dilihat pada Tabel 6 (Maspupu dan Setyanto, 2012).

Tabel 5. koefisien-koefisien dari model parsial.

a_1	19,44
a_2	0,26
b_1	20,5748
b_2	- 0,1130
b_3	- 0,0010
b_4	- 0,1130
b_5	- 0,0019
c_1	10,2474
c_2	-0,7338

c_3	-0,1675
d_1	11,7344
d_2	-1,0088
d_3	0,1328
d_4	- 0,9744
d_5	0,2611
d_6	- 0,9187
d_7	0,3805
d_8	-0,8439
d_9	0,4872

Tabel 6. wujud fungsi-fungsi parsial.

$f'_1 = 1$
$f'_2 = F10.7$
$g'_1 = 1$
$g'_2 = \cos(\frac{2\pi \cdot DOY}{365})$
$g'_3 = \sin(\frac{2\pi \cdot DOY}{365})$

$g'_4 = \cos(\frac{4\pi \cdot DOY}{365})$
$g'_5 = \sin(\frac{4\pi \cdot DOY}{365})$
$h'_1 = 1$
$h'_2 = \cos(\frac{\pi \cdot LA}{7})$
$h'_3 = \sin(\frac{\pi \cdot LA}{7})$

$m_1 = 1$
$m_2 = \cos\left(\frac{\pi.LT}{12}\right)$
$m_3 = \sin\left(\frac{\pi.LT}{12}\right)$
$m_4 = \cos\left(\frac{\pi.LT}{6}\right)$
$m_5 = \sin\left(\frac{\pi.LT}{6}\right)$

$m_6 = \cos\left(\frac{\pi.LT}{4}\right)$
$m_7 = \sin\left(\frac{\pi.LT}{4}\right)$
$m_8 = \cos\left(\frac{\pi.LT}{3}\right)$
$m_9 = \sin\left(\frac{\pi.LT}{3}\right)$

Selanjutnya dibentuk suatu kombinasi yang merupakan perkalian dari keempat fungsi parsial tersebut, sehingga mewujudkan satu model empiris hari tenang variasi medan geomagnet untuk satu stasiun geomagnet di Tondano (Sulawesi Utara). Dalam hal ini terdapat 270 koefisien model empiris yang merupakan kombinasi perkalian koefisien-koefisien dari keempat fungsi parsial tersebut. Jadi secara matematis diperoleh :

$$\begin{aligned}
 EM_{QD} (SA, DOY, LA, LT) &= f(SA). g(DOY). h(LA).m(LT) \\
 &= \sum_{i,j,k,l} a_i f'_i \cdot b_j g'_j \cdot c_k h'_k \cdot d_l m'_l \\
 &= \sum_{n=1}^{270} \alpha_n (EM_{QD})'.
 \end{aligned}$$

Dengan demikian hasil perhitungan koefisien α_n , $n = 1, 2, \dots, 270$, secara matematik dapat dilihat dalam tabel berikut yaitu Tabel 7.

Tabel 7. Koefisien-koefisien model empiris hari tenang variasi medan geomagnet.

α_n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	48095, 72	- 4134, 76	544, 31	- 3993, 77	1070, 17	- 3765, 47	1559, 55	- 3458, 89	1996, 88	- 264, 15
11	22,71	-2,99	21,93	-5,88	20,68	-8,56	18,99	-10,97	- 2,34	0,20
21	-0,03	0,19	-0,05	0,20	-0,08	0,17	-0,10	- 264,15	22,71	-2,99
31	21,93	-5,88	20,68	-8,56	18,99	-10,97	- 4,44	0,38	-0,05	0,37
41	-0,10	0,35	-0,14	0,32	-0,18	- 3444, 06	296, 08	-38,98	285,99	-76, 63
51	269,64	-111,68	247, 68	-142,99	18,92	- 1,63	0,21	- 1,57	0,42	- 1,48
61	0,61	- 1,36	0,79	0,17	- 0,01	1,89. E-3	- 0,01	3,72. E-3	- 0,01	5,43. E-3
71	- 0,01	6,95. E-3	18,92	- 1,63	0,21	- 1,57	0,42	- 1,48	0,61	- 1,36
81	0,79	0,32	-0,03	3,60. E-3	-0,03	7,08. E-3	- 0,02	0,01	- 0,02	0,01
91	- 786,15	67,59	-8,90	65,28	-17,49	61,55	-25,49	56,54	-32,64	4,32
101	- 0,37	0,05	- 0,36	0,10	- 0,34	0,14	- 0,31	0,18	0,04	-3,28. E-3
111	4,32. E-4	- 3,17. E-3	8,50. E-4	-2,99. E-3	1,24. E-3	- 2,75. E-3	1,59. E-3	4,32	- 0,37	0,05
121	- 0,36	0,10	- 0,34	0,14	- 0,31	0,18	0,07	- 6,24. E-3	8,22. E-4	-6,03. E-3
131	1,62.	- 5,68.	2,35.	- 5,22.	3,01.	643,26	- 55,30	7,28	- 53,41	14,31

	E-3	E-3	E-3	E-3	E-3					
141	- 50,36	20,86	- 46,26	26,71	- 3,53	0,30	-0,04	0,29	-0,08	0,28
151	- 0,11	0,25	- 0,15	- 0,03	2,69. E-3	-3,54. E-4	2,60. E-3	-6,96. E-4	2,45. E-3	-1,01. E-3
161	2,25. E-3	-1,30. E-3	- 3,53	0,30	- 0,04	0,29	- 0,08	0,28	- 0,11	0,25
171	- 0,15	- 0,06	5,11. E-3	- 6,72. E-4	4,93. E-3	-1,32. E-3	4,65. E-3	-1,93. E-3	4,27. E-3	-2,47. E-3
181	- 46,06	3,96	- 0,52	3,82	-1,02	3,61	-1,49	3,31	-1,91	0,25
191	- 0,02	2,86. E-3	- 0,02	5,63. E-3	- 0,02	8,20. E-3	- 0,02	0,01	2,24. E-3	-1,92. E-4
201	2,53. E-5	-1,86. E-4	4,98. E-5	-1,75. E-4	7,26. E-5	-1,61. E-4	9,30. E-5	0,25	- 0,02	2,86. E-3
211	- 0,02	5,63. E-3	- 0,02	8,20. E-3	- 0,02	0,01	4,25. E-3	-3,66. E-4	4,81. E-5	-3,53. E-4
221	9,46. E-5	-3,33. E-4	1,38. E-4	-3,06. E-4	1,77. E-4	-10,51	0,90	-0,12	0,87	-0,23
231	0,82	- 0,34	0,76	-0,44	0,06	-4,96. E-3	6,54. E-4	-4,80. E-3	1,28. E-3	-4,52. E-3
241	1,87. E-3	- 4,15. E-3	2,40. E-3	5,11. E-4	- 4,39. E-5	5,78. E-6	- 4,24. E-5	1,14. E-5	- 4,00. E-5	1,66. E-5
251	- 3,68. E-5	2,12. E-5	0,06	- 4,96. E-3	6,54. E-4	- 4,80. E-3	1,28. E-3	- 4,52. E-3	1,87. E-3	- 4,15. E-3
261	2,40. E-3	9,71. E-4	- 8,35. E-5	1,10. E-5	- 8,06. E-5	2,16. E-5	- 7,60. E-5	3,15. E-5	- 6,98. E-5	4,03. E-5

KESIMPULAN

Dari Penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa model empiris hari tenang variasi medan geomagnet EM_{QD} di stasiun geomagnet Tondano dapat dinyatakan sebagai hasil kali fungsi-fungsi dari aktivitas matahari (SA), hari dalam setahun (DOY), usia bulan (LA) dan waktu lokal (LT), namun perlu dan harus dipertimbangkan faktor fisis lainnya yang juga berperan terhadap hari tenang variasi medan geomagnet (ΔH). Model empiris yang didasarkan pada fungsi kecocokan ini terdiri dari 270 bentuk ekspresi matematik. Sedangkan bentuk-bentuk ekspresi matematik ini juga mencakup proses-proses non-linier yang tak dapat diabaikan dalam model empiris hari tenang variasi medan geomagnet tersebut. Selain itu model empiris tersebut dapat ditiru atau dikonstruksi kembali pada suatu selang waktu yang relatif panjang (misalnya satu siklus matahari), asalkan kondisi geomagnet selalu berada dalam keadaan tenang. Kemudian dengan membandingkan model empiris ini pada proses pengamatan selama kondisi gangguan, diharapkan dapat diselidiki akibat-akibat yang ditimbulkan oleh badai magnet ataupun fenomena lainnya seperti gempa bumi. Untuk mempelajari kemampuan prediksi dari model empiris ini, harus dievaluasi galat (*error*) modelnya sehingga dapat dilihat prosentase galat rata-rata per tahun di setiap stasiun geomagnet. Selanjutnya proses maupun prosedur yang serupa untuk mengkonstruksi model empiris hari tenang variasi medan geomagnet EM_{QD} ini, juga dapat diterapkan pada stasiun geomagnet LAPAN lainnya. Sehingga dengan demikian model-model empiris yang diperoleh ini akan memberikan kontribusi informasi gangguan geomagnet untuk operasi survey geologi disekitar setiap stasiun geomagnet LAPAN di wilayah Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Secara khusus saya ucapkan terima kasih kepada rekan sekerja di bidang Geomagsa – LAPAN yang telah memberikan banyak sumbangan pemikiran dalam diskusi-diskusi pribadi. Begitu juga saya ucapkan terima kasih kepada saudara Setyanto Cahyo P., S.Si. atas bantuannya untuk memperoleh data fisis komponen H dari stasiun geomagnet Tondano yang telah diproses.

DAFTAR ACUAN

- Campbell, W.H .1989b. The regular geomagnetic-field variations during quiet solar conditions, in *Geomagnetism*, Vol. 3, edited by J.A. Jacobs, h.385-460, Academic, San Diego, Calif.
- Kakinami, et. al, 2009. Empirical models of total electron content based on functional fitting over Taiwan during geomagnetic quiet condition, *Journal of Ann. Geophys.*, vol. 27, h. 3321 - 3333.
- Maspupu, J. dan Setianto. 2012, Hubungan antara hari tenang variasi medan geomagnet dengan aktivitas matahari di SG Tondano, *Prosiding seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VII, FSM – UKSW*, Salatiga, h.263- 268.
- Maspupu, J.dan Setianto, 2014. Model parsial hari tenang variasi medan geomagnet sebagai fungsi dari DOY, LA dan LT di stasiun geomagnet Tondano, *Jurnal Geologi Kelautan (Dalam persiapan penerbitan)*.
- Yamasaki ,Y.2011. An empirical model of the quiet daily geomagnetic field variation , *Journal of Geophysical Research*, vol. 116, h. A10312.