

PENGEMBANGAN SOFTWARE DETEKSI OTOMATIS SUDDEN COMMENCEMENT BADAI GEOMAGNET NEAR REAL TIME

Anwar Santoso^{*)}, Sarmoko Saroso^{*)}, Habirun^{*)}, Setyanto Cahyo P.^{*)},
Cucu Eman H.^{*)}, Hendrik Maryono^{**)} dan Priyo Wicaksono^{***)}

^{*)} Bidang Aplikasi Geomagnet dan Magnet Antariksa–Pusfatsainsa, LAPAN

^{**)} P3JB Jawa-Bali, PT. PLN, Bandung

^{***)} Birusoft, IT Consulting, Bandung

Email : anwar@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

The geomagnetic storm is a natural phenomenon in the space weather system that may cause disturbance to HF communication systems, navigation, satellite operation, and power grid transformer. Therefore, it is important to develop an automatic detector of Sudden Commencement (SC) geomagnetic storm using the characteristics of SC as its input. The SC is a good indicator of onset of the geomagnetic storm. If this operation is performed manually, the data would have to be monitored continuously 24 hours a day, which would be extremely inefficient. By using H component data from Biak (BIK), Pontianak (PTN), and Kototabang (KTB) during 2009, the Prototype of an Automatic Detection of Sudden Commencement of geomagnetic storm (PSDO_SC) was developed to be the Automatic Detection of Sudden Commencement of geomagnetic storm (SDO_SC). In addition, the study on the impact of geomagnetic storm forward transformers in Indonesia was carried out as an effort in supporting space weather activity in the Space Science Center, LAPAN. The result shows that an accurate SDO_SC to detect the occurrence of the geomagnetic storm is obtained. The SDO_SC is also able to operate firmly on the near real time data of the geomagnetic field at Biak, Pontianak, and Kototabang ground stations based on the email and SMS gateway. The software is planned to be applied fully in 2010.

Keywords: *Sudden Commencement of geomagnetic storm, Software of SDO_SC, H-component near real time*

ABSTRAK

Badai geomagnet merupakan salah satu fenomena alam terpenting dalam sistem cuaca antariksa yang keberadaannya bersifat acak dan dapat menyebabkan gangguan pada sistem komunikasi HF, navigasi, operasional satelit dan jaringan listrik. Oleh karena itu, pembangunan dan pengembangan software pendeteksi badai geomagnet secara otomatis dengan menggunakan karakteristik *Sudden Commencement* (SC) sebagai indikator masukannya sangatlah diperlukan. Hal ini dikarenakan jika pendeteksian dilakukan secara manual, pengamat harus melakukan monitoring data selama 24 jam sehingga terasa sangat tidak efisien. Dengan menggunakan data komponen H stasiun Biak (BIK), Pontianak (PTN) dan Kototabang (KTB) *near real time* sepanjang tahun 2009, maka dilakukan pengembangan Prototipe Software Deteksi Otomatis SC Badai Geomagnet (PSDO_SC) menjadi *Software* Deteksi Otomatis SC Badai Geomagnet (SDO_SC). Selain itu, juga dilakukan kajian akan dampak badai geomagnet terhadap trafo di Indonesia sebagai upaya mendukung kegiatan pemantauan cuaca antariksa Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN. Hasilnya adalah telah berhasil diperoleh sebuah SDO_SC dengan akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi kejadian badai geomagnet dan mampu untuk beroperasi secara stabil pada data medan geomagnet stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang *near real time* berbasis SMS gateway dan email. Rencananya, *Software* akan mulai dioperasikan secara penuh tahun 2010.

Kata kunci: *Sudden Commencement badai geomagnet, Software SDO_SC, Komponen H near real time*

1 PENDAHULUAN

Badai geomagnet merupakan fenomena global yang penting dalam hubungan Matahari-Bumi. Ketika sebuah *Coronal Mass Ejection* (CME/ lontaran massa korona) terjadi di permukaan Matahari maka bersama-sama angin surya dan partikel bermuatan dengan kecepatan tinggi dapat dilontarkan menuju Bumi. Pada saat bertemu dengan magnetosfer Bumi maka terjadi peristiwa *interplanetary shock* (IPS). Resultan dari IPS mengompresi magnetosfer Bumi sehingga terjadi kenaikan mendadak medan magnet yang teramati di seluruh permukaan Bumi. Peristiwa selanjutnya setelah IPS terjadi badai geomagnet, jika pada saat yang bersamaan medan magnet antar planetnya (*interplanetary magnetic field*, IMF) mengarah ke selatan (Nagatsuma, 2002). Perubahan awal saat IPS dirujuk sebagai *sudden commencement* (SC). Peristiwa badai geomagnet yang diawali dengan kenaikan mendadak dinamakan SC badai geomagnet. Sedangkan kenaikan mendadak yang tidak diikuti dengan kejadian badai magnet dinamakan peristiwa *Sudden Impuls* (SI) dan biasanya berhubungan dengan arah utara medan magnet antar planet.

Gangguan badai geomagnet karena CME kadangkala dapat terjadi secara ekstrim. Peristiwa ini sering menyebabkan rusaknya peralatan yang menggunakan teknologi tinggi, seperti satelit-satelit, sistem navigasi, komunikasi HF dan juga terbakarnya trafo listrik. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sebuah sistem yang mendeteksi dan menyediakan informasi terkait keberadaan badai geomagnet secara otomatis dan cepat dengan menggunakan SC lokal (stasiun pengamatan medan geomagnet di sekitar Indonesia) sebagai indikatornya. Jika pengoperasian ini dilakukan secara manual, pengamat harus melakukan monitoring data selama 24 jam dan ini

akan terasa sangat tidak efisien (Manabu dkk., 2005). Karenanya akan sangat baik jika sistem ini dilakukan secara otomatis dengan menggunakan *personal Computer-PC* dengan memasukan kriteria dari SC lokal. Karakterisasi SC lokal (Biak) telah dilakukan pada penelitian dengan judul "Karakteristik *Sudden Commencement* dan *Sudden Impuls* Di SPD Biak Periode 1992-2001 " (Santoso. A, dkk, 2008). Hasilnya diperoleh 3 harga kriteria SC SPD Biak sebagai karakter yang terkait kejadian badai geomagnet yaitu,

- Onset SC : $Y = y(2)-y(1)/t(2)-t(1) > 0$
- Amplitudo: $> 9 \text{ nT}$; Periode : < 10 menit; dan
- Gradien : $> 2.5 \text{ nT}$

Berdasarkan kriteria di atas dilakukan pengembangan *software* deteksi otomatis SC badai geomagnet menggunakan masukan medan geomagnet near real time wilayah Indonesia. Adapun tujuan kegiatan ini adalah memperoleh sebuah Software Deteksi Otomatis SC Badai Geomagnet (SDO_SC) yang beroperasi kontinyu dan stabil dengan memanfaatkan komponen H medan geomagnet near real time dari stasiun-stasiun pengamat yang terdapat di wilayah Indonesia. Harapannya adalah *software* otomatis pendeteksi badai geomagnet untuk mendukung program monitoring cuaca antariksa sebagai sistem peringatan dini.

2 DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan sebagai bahan analisis adalah medan geomagnet dari stasiun Biak (BIK), Pontianak (PTN) dan Kototabang (KTB) near real time, terutama komponen H-nya. Selain itu, digunakan indeks Dst untuk mengklarifikasi ada atau tidaknya kejadian badai geomagnet saat itu. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah dengan (1) melakukan studi literatur mengenai karakteristik badai geomagnet

dan, (2) pengembangan *software* deteksi otomatis SC badai geomagnet (SDO_SC). Metode yang digunakan untuk studi dan pengembangan SDO_SC adalah metode statistik meliputi (a) uji akurasi dan (b) uji kestabilan operasi *software* SDO_SC. Hasil uji akurasi, uji stabilitas operasi *software* SDO_SC digunakan sebagai dasar membangun fasilitas tambahan yaitu SMS dan email.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

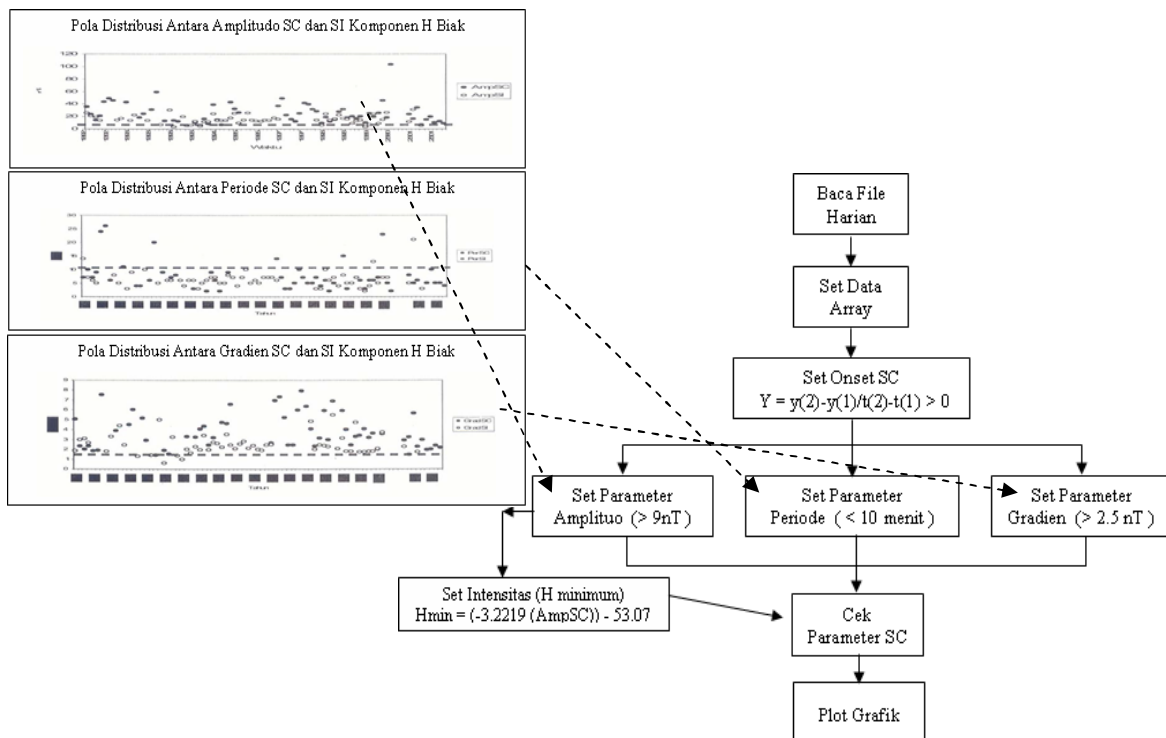
Karakteristik SC badai geomagnet komponen H stasiun Biak digunakan sebagai dasar dalam membangun *Software* Deteksi Otomatis SC Badai Geomagnet (SDO_SC). Agar *software* SDO_SC dapat menentukan SC badai geomagnet, maka dibutuhkan setidaknya empat kriteria yang merepresentasikan SC badai geomagnet yaitu (Santoso dkk., 2008):

- Amplitudo: > 9 nT

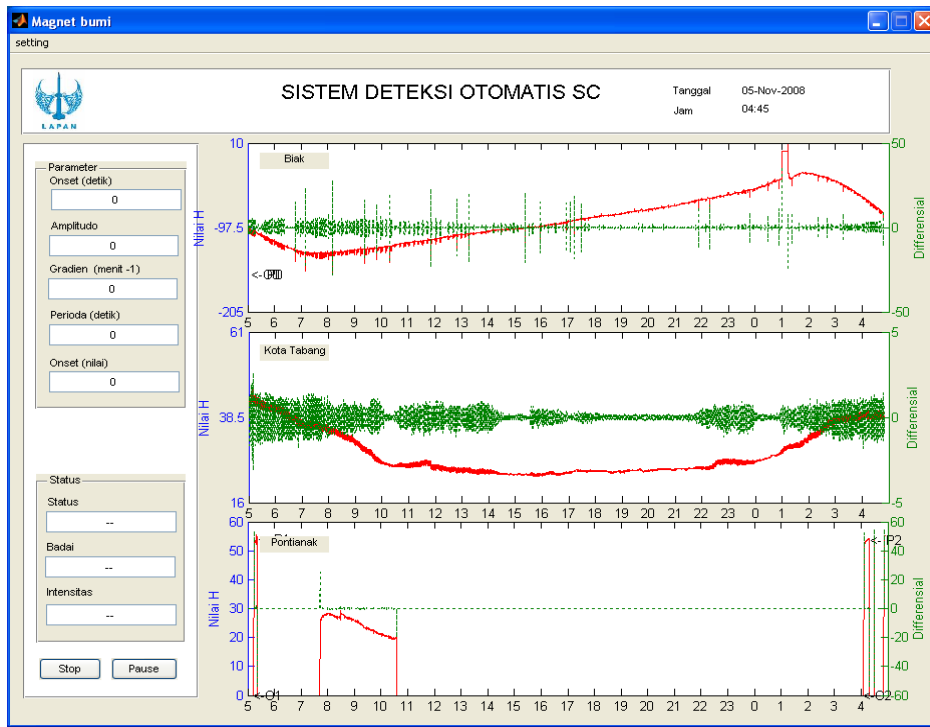
- Periode : < 10 menit
- Gradien : > 2.5 nT
- Onset SC : $Y = y(2)-y(1)/t(2)-t(1) > 0$

Ilustrasi sederhana proses pembangunan *software* SDO_SC seperti ditunjukkan dalam bentuk *flowchart* pada Gambar 3-1.

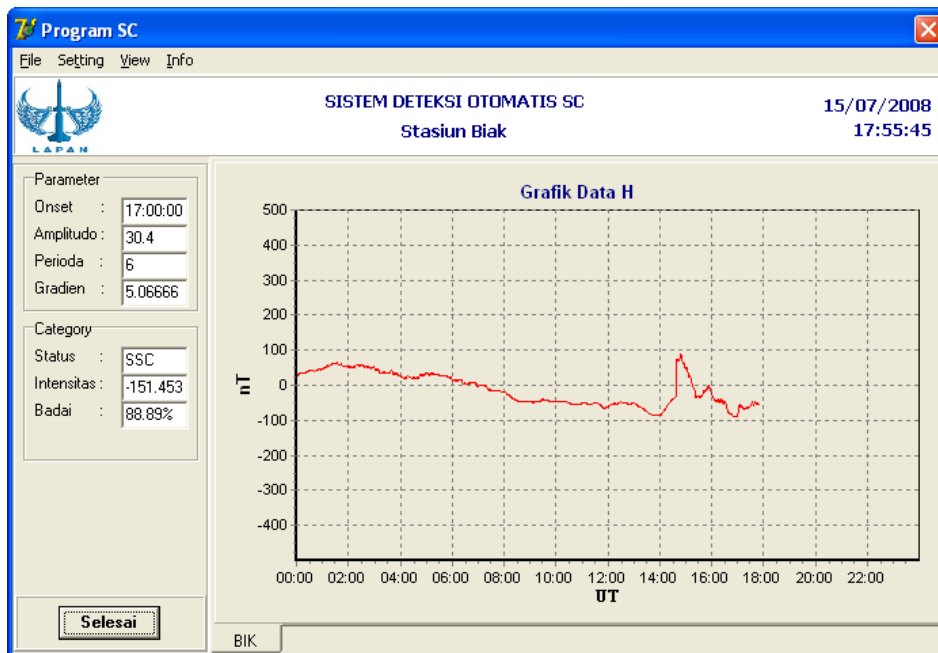
Pembangunan *software* SDO_SC dilakukan melalui dua cara yaitu (1) menggunakan bahasa program Matlab dengan masukan medan geomagnet detik-an, dinamakan SDO_SCd, dan (2) menggunakan bahasa program Borland Delphi dengan masukan medan geomagnet menit-an, dinamakan SDO_SCm. Hasil awal yang diperoleh dalam pembangunan *software* SDO_SC adalah sebuah prototipe *software* SDO_SCd (PSDO_SCd) dan prototipe *software* SDO_SCm (PSDO_SCm). Tampilan kedua prototipe SDO_SC di atas, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-1: (kiri) Pola Distribusi Amplitudo, Periode, Gradien SC dan SI Komponen H Biak Tahun 1992-2001, (kanan) *Flowchart* penentuan parameter SC badai geomagnet pada *Software* SDO_SC



Gambar 3-2a: Tampilan Prototipe SDO_SCd (PSDO_SCd) yang dijalankan menggunakan data medan geomagnet stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang



Gambar 3-2b: Tampilan Prototipe SDO_Scm (PSDO_Scm) yang dijalankan menggunakan data medan geomagnet stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang

Selanjutnya dilakukan pengembangan terhadap kemampuan prototipe SDO_SC. Pengembangan tersebut di antaranya meliputi :

- peningkatan akurasi,
- peningkatan stabilitas operasi, dan

- penambahan fasilitas SMS gateway dan email.

3.1 Hasil Kegiatan Peningkatan Akurasi Software SDO_SC

Untuk peningkatan akurasi, dilakukan perubahan batas *cut-off*.

Kriteria SC badai geomagnet yang mengalami perubahan batas adalah amplitudo SC dan gradien SC. Seperti telah dijelaskan di atas bahwa 4 kriteria SC badai geomagnet, yaitu :

- Onset SC : $Y = y(2)-y(1)/t(2)-t(1) > 0$
- Amplitudo : $> 9 \text{ nT}$;
- Periode : < 10 menit; dan
- Gradien : $> 2.5 \text{ nT}$

Batas *cut-off* di atas dinamakan "*cut-off* standar". Dengan batas *cut-off* standar ini, software SDO_SC mendeteksi banyak sekali kenaikan mendadak medan magnet (*Interplanetary shock*) yang dibaca seolah-olah sebagai fenomena SC badai geomagnet, terutama software SDO_SC yang sangat sensitif terhadap kenaikan kecil medan magnet. Untuk mengatasi permasalahan ini maka dilakukan upaya perbaikan batas *cut-off*. Pertama kali upaya perbaikan batas *cut-off* adalah melakukan klasifikasi ketiga kriteria SC badai geomagnet terhadap kejadiannya ($Dst < -100 \text{ nT}$). Hasilnya seperti ditunjukkan pada Tabel 3-1.

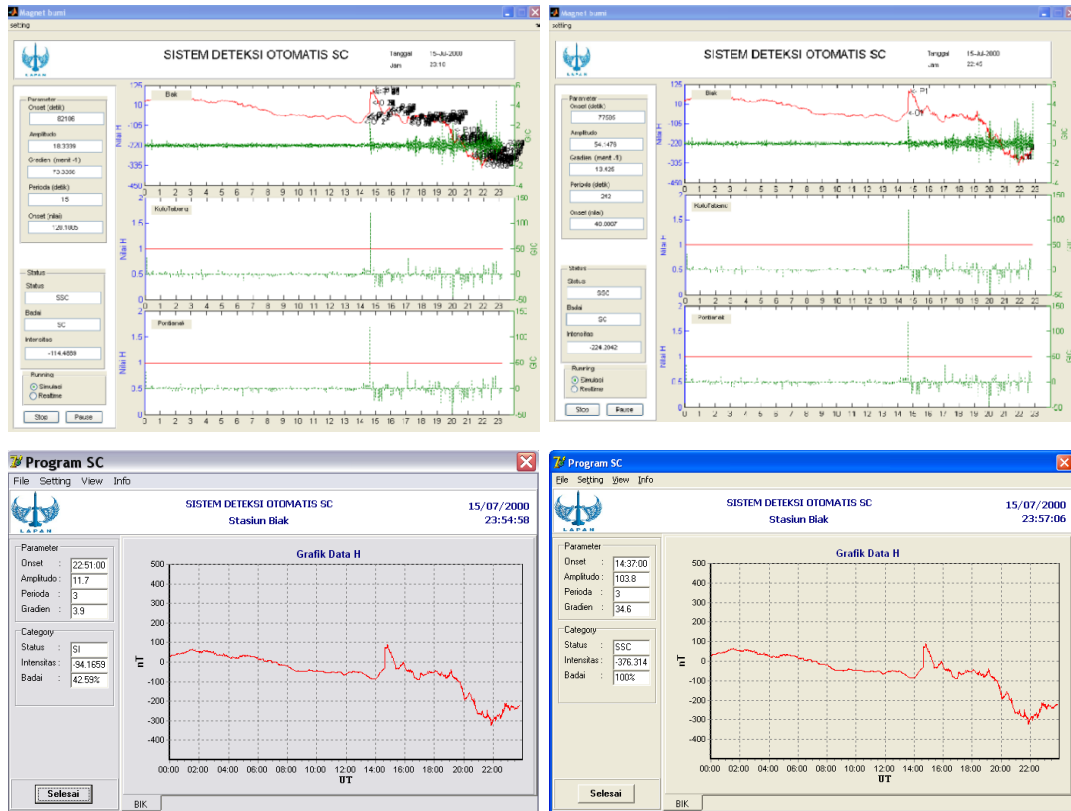
Dari Tabel 3-1, diperoleh petunjuk bahwa batas *cut-off* yang terbaik agar supaya software SDO_SC lebih akurat membaca fenomena *interplanetary shock* hanya sebagai SC badai geomagnet adalah sebagai berikut,

- (1) batas Amplitudo $> 35 \text{ nT}$
- (2) batas periode < 10 menit, dan
- (3) batas gradien $> 17.5 \text{ nT/menit}$.

Batas *cut-off* baru ini dinamakan "*cut-off* pengembangan". Selanjutnya, dilakukan penggantian dari batas *cut-off* standar menjadi batas *cut-off* pengembangan. Dengan memanfaatkan batas *cut-off* pengembangan maka software SDO_SC mendeteksi jauh lebih sedikit fenomena SI dan *noise*. Dengan kata lain, melalui batas *cut-off* pengembangan ini, dipastikan bahwa software SDO_SC membaca *interplanetary shock* sebagai tanda awal badai geomagnet. Contoh peningkatan akurasi hasil pembacaan Software SDO_SC ditunjukkan pada Gambar 3-3.

Tabel 3-1: DISTRIBUSI 3 KRITERIA PARAMETER INTERPLANETARY SHOCK SEPANJANG TAHUN 1992-2001

No	Amp			Periode	Gradien				
	nT	SI	SC		Menit	SI	SC	Mnt/s	SI
1	0 - 10	13	7	< 3	0	8	2.5-10	49	38
2	10 - 20	31	23	3<M<5	12	22	10-20	7	15
3	20 - 30	11	11	5<M<10	44	30			
							40-50		2
6 Nop 01, Dst = -297nT							12.5-15		
7	60 - 70	0	0				15-17.5		
8	70 - 80	0	0				17.5-20		
9	80 - 90	0	0				20-22.5		
10	90 - 100	0	0				22.5-25		
11	100-110	0	1	15 Juli 00, Dst = -397 nT			25-27.5		
12	110-120	0	0				27.5-30		
13	120-130	0	0				30-32.5		
14	130-140	0	1	31 Maret 01, Dst = -401nT			32.5-35		
15	140-150	0	0				35-37.5		
		56	60		56	60		56	60



Gambar 3-3: Contoh hasil peningkatan akurasi software SDO_SC

Secara keseluruhan peningkatan akurasi hasil pembacaan *Software* SDO_SC dari tahun 1992 sampai 2001, ditunjukkan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2: Hasil UJI AKURASI SISTEM SDO_SC MENGGUNAKAN DATA MEDAN GEOMAGNET STASIUN BIAK LAMA (1992-2001) PADA SAAT BADAI GEOMAGNET KUAT SEPANJANG TAHUN 1992-2001

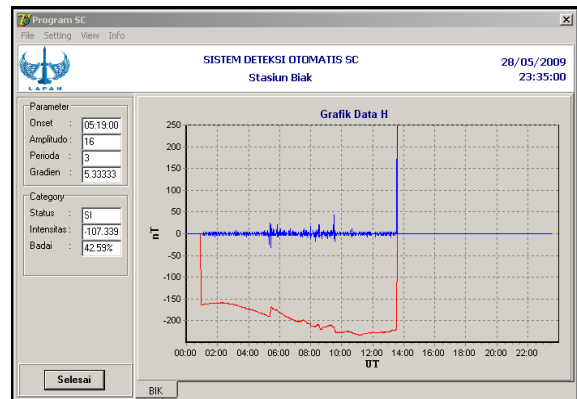
	Kejadian SSC		Hmin _a mat	Hmin _{SDO_scd}	Hmin _{SDO_scm}	
1	1992	9-Sep	-214.7	-406.5		
2	1994	6-Feb	-156.1	Tdk		
3	1994	21-Feb	-209.8	Tdk		
4	1994	3-Mar	-143.4	Tdk		
5	1994	30-Oct	-131.5	Tdk		
6	1995	16-May	-149.4			
7	1995	18-Oct	-117.4			
8	1996	13-Jan	-118.5			
9	1997	15-May	-175.6	-183.4	-177.9	
10	1997	22-Nov	-105.4			
11	1998	4-May	-275.5	-302.5	-278.8	
12	1998	27-Aug	-207.9			
13	1998	25-Sep	-257.2	-273.3	-260.1	
14	1998	19-Oct	-126.9			
15	2000	11-Feb	-184.8	-192.3	-186.1	
16	2000	15-Jul	-317.9	-445.2	-219	-376.4
17	2001	31-Mar	-362.9	-425.5	-225	-386.7
18	2001	11-Apr	-192.9			
19	2001	13-Apr	-103.7			
20	2001	28-Oct	-128.3	-216		-393.8

3.2 Hasil Kegiatan Peningkatan Stabilitas Operasi Software SDO_SC

Untuk meningkatkan stabilitas operasi software SDO_SC maka digunakan medan geomagnet stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang near real time (tahun 2009, format data biner). Hasil pengujian awal diperoleh bahwa kedua software SDO_SC tidak bisa *running* pada data medan geomagnet *near real time* yang disebabkan oleh perbedaan format data. Pada awal pembangunan (prototipe software SDO_SC), format data medan geomagnet yang digunakan adalah format *ascii* (data lama tahun 1992-2001). Untuk itu dilakukan pembenahan dan penataan ulang perintah pada *list* program. Setelah dilakukan pembenahan, kedua Software SDO_SC dapat beroperasi pada format data *biner*, contohnya seperti ditunjukkan pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4a: Contoh hasil operasi Software SDO_SCd dengan data stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang near real time tanggal 28 Mei 2009

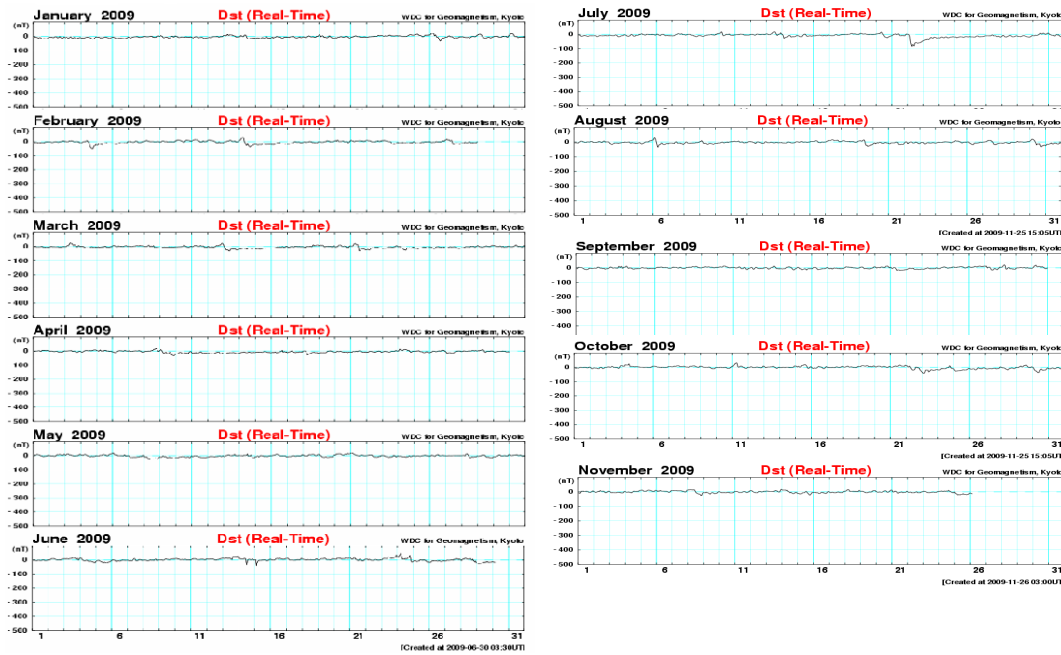


Gambar 3-4b: Contoh hasil operasi Software SDO_SCm dengan data stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang near real time tanggal 28 Mei 2009

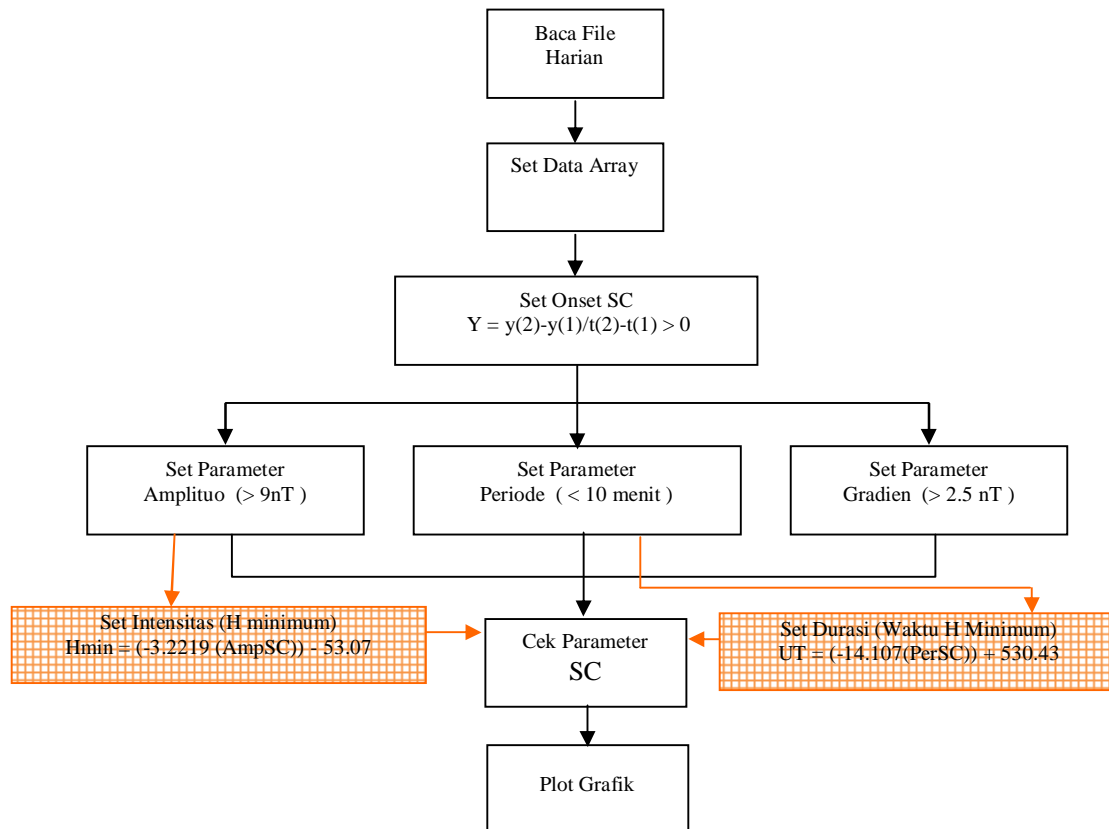
Dalam uji stabilitas operasi, dijumpai masalah lain yaitu munculnya operasi *noise* yang berakibat pada macetnya operasi *software* dan kekeliruan deteksi. Hal ini dikarenakan pola *noise* dianggap sebagai fenomena yang tidak wajar (ekstrim) oleh *software*. Salah satu upaya untuk mengatasinya adalah dengan mengembangkan metode penghilang *noise* otomatis. Saat ini, kegiatan tersebut sedang dilakukan di bidang *Apgeomagsa* melalui kegiatan *standard operational procedure* (SOP).

Sepanjang tahun 2009, hasil *running* Software menggunakan data medan geomagnet stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang tidak diperoleh satupun kejadian berupa badai geomagnet. Hal ini diduga disebabkan tidak adanya aktivitas ekstrim di permukaan Matahari, baik berupa CME, flare maupun *coronal holes* kuat di sepanjang tahun 2009, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-5.

Selain itu, kemampuan *software* juga dikembangkan dengan penambahan kemampuan mengestimasi waktu durasi, yaitu lama waktu dari onset sampai komponen H mencapai minimum. Urutan langkah untuk melakukan pembenahan *software* ditunjukkan pada Gambar 3-6.

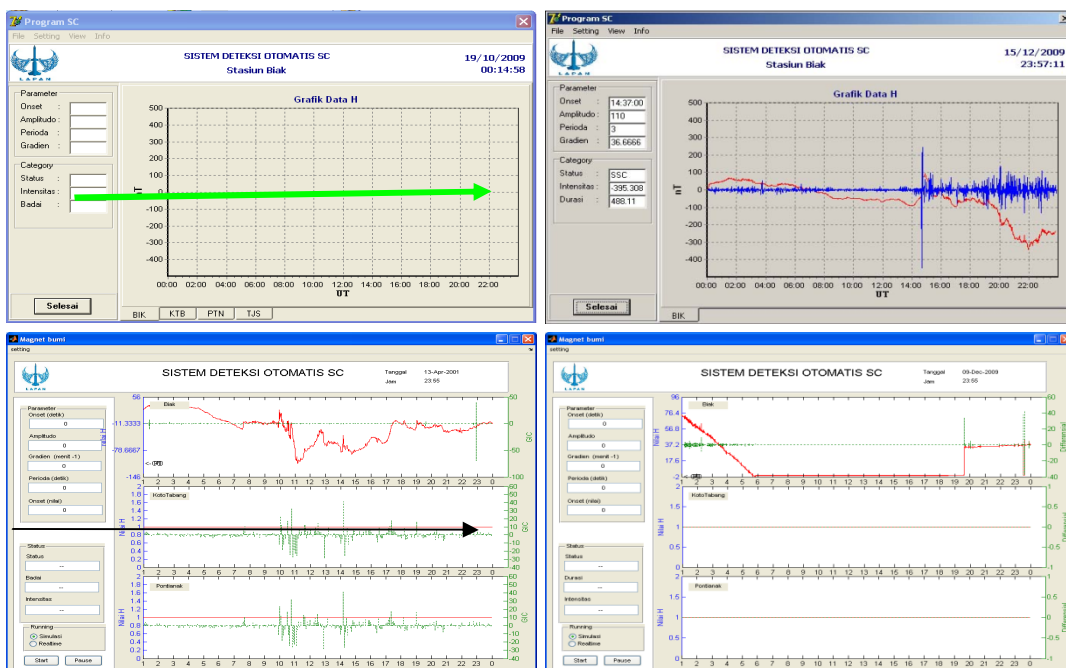


Contoh 3-5: Pola indeks Dst tahun 2009. Tidak ada pola seperti badai geomagnet (http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/)



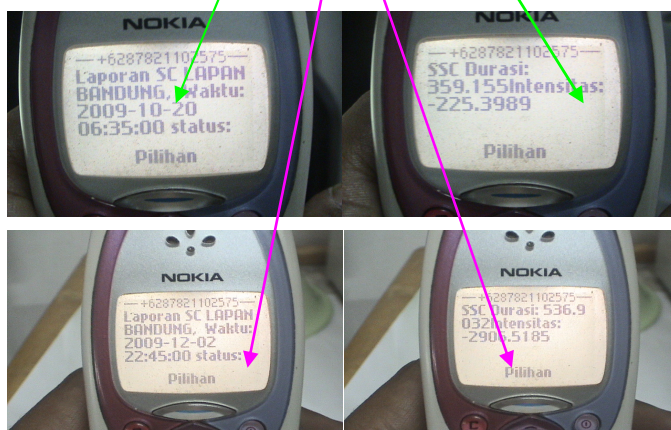
Gambar 3-6: Urutan langkah penentuan SC badai geomagnet Software SDO_SC dan inovasinya. Keterangan : kotak yang diarsir adalah penambahan baru kemampuan *software*

Selain penambahan kemampuan, juga dilakukan perubahan tampilan *software*, seperti dapat dilihat pada Gambar 3-7.



Gambar 3-7: Perubahan tampilan software, tanda panah adalah lokasi icon yang ditambah atau diubah

		tanggal	dstasiun	status	durasi	intensitas
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	19	2009-10-20 00:30:00	BIK	--	--
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	20	2009-10-20 04:55:00	BIK	SSC	501.4006 -728.8619
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	21	2009-10-20 06:35:00	BIK	SSC	359.155 -225.3989
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	22	2009-12-02 17:15:00	BIK	SSC	539.2544 -1237.4772
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	23	2009-12-02 18:40:00	BIK	SSC	538.0788 -719.6183
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	24	2009-12-02 19:10:00	BIK	SSC	538.0788 -1501.6397
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	25	2009-12-02 19:15:00	BIK	SSC	538.0788 -1356.6693
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	26	2009-12-02 20:00:00	BIK	SSC	541.1493 -724.3434
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	27	2009-12-02 21:25:00	BIK	SSC	539.4895 -807.6199
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	28	2009-12-02 21:45:00	BIK	SSC	538.7842 -1485.2165
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	29	2009-12-02 22:10:00	BIK	SSC	536.9032 -1452.3413
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30	2009-12-02 22:20:00	BIK	SSC	534.0818 -1940.7517
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	31	2009-12-02 22:25:00	BIK	SSC	534.5521 -1249.3054
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	32	2009-12-02 22:45:00	BIK	SSC	536.9032 -2906.5185
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	33	2009-12-02 22:50:00	BIK	SSC	538.0788 -2120.7622
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	34	2009-12-02 22:55:00	BIK	SSC	538.0788 -2120.7622
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	35	2009-12-02 23:00:00	BIK	SSC	540.1949 -1064.069
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	36	2009-12-02 23:00:00	BIK	SSC	540.1949 -1064.069



Gambar 3-8: Contoh hasil uji coba SMS gateway dan email terhadap data medan geomagnet tanggal 20 Oktober 2009 dan 2 Desember 2009

3.3 Hasil Kegiatan Penambahan Fasilitas SMS dan Email Pada SDO_SC

Untuk melengkapi fasilitas *Software* dilakukan upaya penambahan SMS gateway dan email pada *Software*. Hal ini bertujuan agar hasil pendeteksian otomatis keberadaan badai geomagnet oleh *Software* dapat disebarluaskan secara luas dan sesegera mungkin. Uji coba pertama dilakukan menggunakan data medan geomagnet stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang tanggal 20 Oktober 2009 dan tanggal 2 Desember 2009. Contoh hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 3-8. Klarifikasi hasil uji coba keluaran *Software* terhadap *raw* data diperoleh hasil deteksi *software* melalui fasilitas ini sudah cukup tepat. Hal ini berarti bahwa *Software* SDO_SC ini bisa dikatakan sudah cukup layak untuk digunakan dalam mendukung program pemantauan cuaca antariksa.

Sampai saat inipun *software* SDO_SC masih terus dioperasikan, dipantau dan dianalisis hasilnya, tetapi untuk sementara ini masih belum dipublikasikan (dipamerkan) dengan pertimbangan bahwa sistem masih dalam proses pengawasan.

4 KESIMPULAN dan SARAN

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil pada kegiatan ini adalah bahwa telah berhasil dikembangkan sebuah *Software* SDO_SC sesuai harapan. *Software* ini dianggap telah memiliki akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi kejadian badai geomagnet dan mampu untuk beroperasi secara stabil pada data medan geomagnet stasiun Biak, Pontianak dan Kototabang near real time. Sehingga layak dipertimbangkan untuk digunakan dalam mendukung

program pemantauan cuaca antariksa di Pusfatsainsa, LAPAN, terutama cuaca antariksa yang berkaitan dengan kejadian badai geomagnet.

4.2 Saran

Software SDO_SC dapat digunakan untuk kegiatan deteksi badai geomagnet dalam program cuaca antariksa Pusfatsainsa, LAPAN. Hasil deteksi dapat diinformasikan kepada user sesegera mungkin. *Software* inipun dapat dikembangkan untuk kegiatan monitoring dampak badai geomagnet pada trafo jaringan listrik, terutama di Indonesia.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kepala Bidang dan seluruh staf Bidang Apgeomagsa-Pusfatsainsa, LAPAN atas izin penggunaan data-data serta dukungannya yang menunjang kelancaran kegiatan ini. Selain itu, juga disampaikan terima kasih untuk seluruh tim Program RIK LAPAN 2009.

DAFTAR RUJUKAN

- Anwar Santoso, Habirun, Sity Rachyany, Harry Bangkit, 2008. *Karakteristik Sudden Commencement dan Sudden Impuls di SPD Biak Periode 1992-2001*, Jurnal Sains Dirgantara (JSD) LAPAN, Vol. 6 No. 1, Desember 2008, Hal. 60-70, ISSN : 1412-808X
- Nagatsuma T., 2002. 3-5 *Geomagnetic Storms*, Journal of the Communications Research Laboratory, Vol. 49 No.3.
- Shinohara M., Kikuchi T., and Nozaki K., 2005. *Automatic Realtime Detection of Sudden Commencement of Geomagnetic Storms*, Journals of the National Institute of Information and Communications Technology, Vol. 52 Nos. 3/4.