

PERANCANGAN OSILATOR BERFASA DAN FREKUENSI VARIABEL DENGAN PENSTABIL LINGKAR TERTUTUP PADA PENELITIAN *ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE (EMI)*

Oleh :
Sutisno *
Sridana Windya *
Anita Pascawati*

Abstrak

Suatu alat atau sistem untuk mengurangi atau meniadakan gangguan electromagnetic interference (EMI) pada sistem kendali roket, dirancang pada riset ini. Upaya ini dilakukan agar diperoleh sistem yang electromagnetic compatibility (EMC), akurat, dan handal..[jan]. Perancangan dilaksanakan dengan melakukan berbagai pengujian, yang meliputi pencarian solusi yang terbaik untuk mengatasi gangguan EMI, misalnya dengan shielding, common grounding, filtering, circuits atau printed circuit board (PCB) separation, dan sebagainya. Filter yang dirancang meliputi low pass filter, high pass filter, dan band pass filter. Pada makalah ini disajikan perancangan osilator berfasa dan frekuensi variabel dengan penstabil lingkaran tertutup.

Kata kunci : electromagnetic, frekuensi, roket, osilator, interferensi.

Abstract

A device or a system applied to reduce or eliminate electromagnetic interference (EMI) with respect to the rocket guidance and control system was designed in the research program. The program was established in order to get an electromagnetic compatibility (EMC), accurate and reliable guidance and control system..[jan]. Designing concludes several tests constituting to look for the best solution in solving the EMI disturbance, being by shielding, common grounding, filtering, circuits or printed circuit board (PCB) separation, etcetera. Filter designed consists of low pass filter, high pass filter, and band pass filter. The paper presents designing of oscillator in variable phase and frequency with closed loop stabilizer.

Key words: electromagnetic, fequency, rocket, oscillator, interference.

1. PENDAHULUAN

Suatu jenis cemaran lingkungan (*environmental pollution*) yang sangat merusak, namun tidak terlihat dan sulit dirasa, adalah *EMI (electromagnetic interference)*. Pengaruhnya mulai dari gangguan kecil pada penerima siaran radio, sampai terjadinya kecelakaan fatal yang disebabkan adanya cacat pada sistem kontrol di wahana terbang. *EMI* dapat mengakibatkan kerusakan pada berbagai peralatan listrik dan elektronik. Dapat pula mengganggu sistem yang menggunakan berbagai spektrum frekuensi radio, dan dapat menimbulkan kebakaran pada lingkungan yang mudah terbakar. Lebih gawat lagi, *EMI* dapat menimbulkan gangguan langsung terhadap otot dan syaraf manusia..[keith]. Pada sistem kontrol dan kendali pada umumnya, *EMI* yang sering mengganggu diperoleh antara lain berasal dari beberapa sumber, yaitu : ..[tim].

- Fluktuasi, surja (*surge*), dan pemutusan aliran pada catu daya.
- Transien dan tegangan lebih yang mendadak pada catu daya, kabel sinyal dan kontrol.
- Medan *RF (radio frequency)*, frekuensi radio) dan radar pulsa serta radar kontinu.
- *ESD (electrostatic discharge)* pada obyek atau manusia yang bermuatan listrik.
- Medan magnet dan listrik dengan frekuensi rendah.

2. METODOLOGI

Pada riset ini digunakan tiga asumsi. Pertama diasumsikan bahwa tidak terjadi waktu tunda pada perambatan gelombang elektromagnetik antar komponen atau instrument. Hal ini karena jarak

* Peneliti Pusat Teknologi Roket – LAPAN

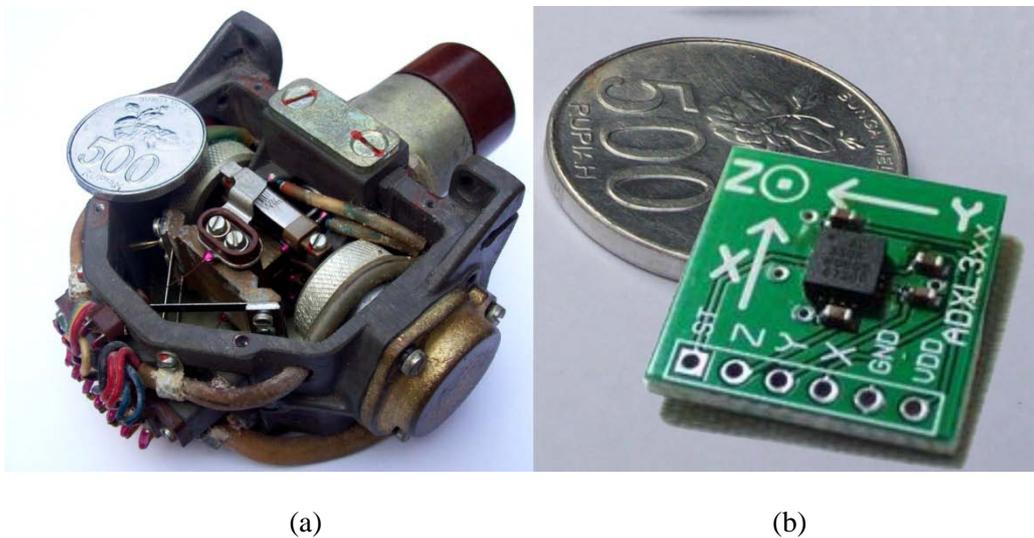
posisi komponen tersebut kurang dari satu meter, yakni pada roket terbesar yang menjadi obyek penelitian adalah 750 mili meter. Asumsi kedua adalah kecepatan gelombang elektromagnetik pada ruang tempat menelitian adalah sama dengan pada ruang hampa, yaitu 3×10^8 meter per detik..[lecom]. Ketiga, diasumsikan bahwa kecepatan gelombang elektromagnetik pada tempat penelitian sama untuk perambatan ke segala arah, yakni pengabaian terhadap efek relativitas..[ching].

Riset yang berupa perancangan ini dilakukan dengan meneruskan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di laboratoria dilingkungan LAPAN. Namun, beberapa percobaan yang dianggap perlu dilakukan kembali, sehingga diperoleh hasil yang lebih baik dan lebih akurat. Dari beberapa riset yang telah dilakukan, riset sistem penahan sinyal *GPS* mempunyai relasi yang relatif dekat dengan riset yang berupa perancangan pada makalah ini. Salah satu tahap dari riset penahan sinyal *GPS* dan riset yang disajikan pada makalah ini serupa, yaitu tahap pengujian gangguan *EMI*.

Dengan demikian, beberapa bagian dari riset ini telah dilakukan pada riset sebelumnya, misalnya perancangan dan pembuatan osilator *UHF*, *RF amplifier* dan sebagainya. Pengambilan *sample* dilakukan dengan menghidupkan peralatan yang digunakan sebagai *payload* roket. Analisis berlangsung dari masing-masing bagian (*part*) dari sistem, maupun keseluruhan sistem. Untuk pengumpulan data digunakan instrumen osiloskop dan voltmeter. Hasil pembacaan dimasukkan pada komputer secara manual, yang kemudian dilakukan pengolahan dan analisis.

3. MINIMISASI KOMPONEN

Beberapa riset telah dilakukan di LAPAN, antara lain rancang bangun sistem penahan sinyal *GPS*, dimana hasilnya berfungsi dengan baik. Pengalaman dari berbagai riset terdahulu lainnya, menunjukkan banyaknya instrumen baru yang canggih, namun gangguan *EMI* masuk dari segala penjuru. *EMI* masuk dari kabel data (sinyal), kabel *ground*, kabel catu daya, jalur-jalur *PCB*, melalui dinding roket, melalui sensor, dan menembus berbagai halangan secara radiasi. Sensor pada *payload* roket berkembang dengan pesat. Perkemba untuk ngan ini antara lain pada *GPS*, akselerometer, *gyro*, sensor kelembaban dan ketinggian. Gambar 3.1 menunjukkan, perkembangan bentuk dan ukuran instrumen akselerometer, yang semakin mengecil ukurannya.

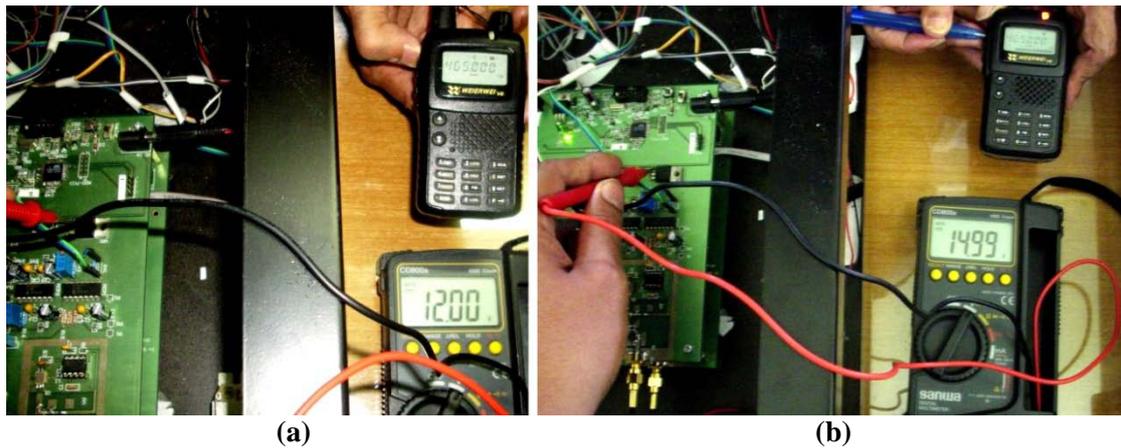


Gambar 3.1. Perkembangan bentuk dan ukuran akselerometer.

Gambar 3.1 (a) adalah akselerometer model lama, yang digunakan pada roket LAPAN sekitar tahun 1980an, sedangkan (b) adalah model baru, yang digunakan sampai sekarang.

4. SUMBER DAN MASALAH *EMI*

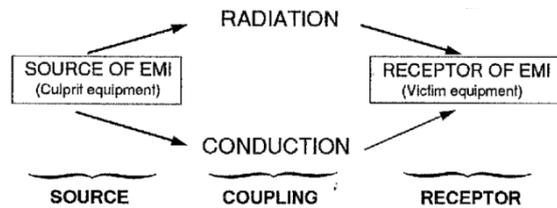
Seperti dipaparkan pada pendahuluan makalah ini, *EMI* dapat merusak berbagai rangkaian dan komponen elektronik. Ini dapat dipahami dengan jelas dari salah satu contoh visual nyata yang menunjukkan pengaruh gangguan *EMI* pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Contoh visual gangguan *EMI*
 (a) Sebelum *EMI* (b) Sesudah *EMI*.

Gambar 4.1(a) menunjukkan pengukuran tegangan keluaran *regulated power supply* sebesar 12 volt. Setelah *HT* (sebagai sumber *EMI*) diaktifkan, terlihat pada Gambar 4.1(b), tegangan *power supply* tersebut langsung naik menjadi 14,99 15 volt. Pengaruh kenaikan tegangan yang cukup signifikan akibat *EMI* ini, jelas dapat menimbulkan berbagai macam gangguan.

Masalah yang disimak pada riset ini terutama adalah pengujian *EMI* dan perancangan sistem untuk menekan gangguan *EMI* terhadap komponen kendali roket. Roket terbang membawa berbagai komponen dan instrumen. Semuanya diletakkan pada daerah hidung roket. Ini akan menimbulkan gangguan *EMI* antar komponen. Masalah *EMI* hanya dapat timbul bila terjadi pertukaran energi elektromagnetik antara sumber *EMI* dan penerima atau komponen korban.. [david]. Masalah *EMI* secara umum dapat dipresentasikan dengan tiga komponen yang ditunjukkan pada Gambar 4.2..[david].



Gambar 4.2. Tiga komponen masalah *EMI*..[david].

Kopling antar instrumen dapat berlangsung melalui penghantar metal misalnya kabel sinyal atau kabel daya, kalau ada, atau yang lebih umum adalah melalui radiasi dari satu peralatan ke peralatan lainnya..[david].

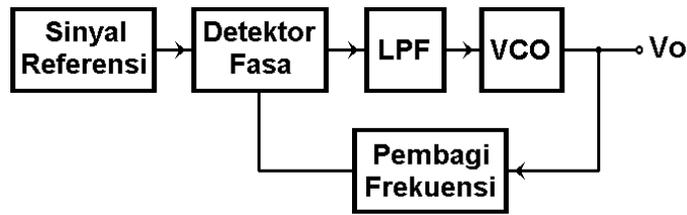
5. PERANCANGAN OSILATOR

Tiga macam basis rangkaian dapat digunakan untuk rangkaian osilator ini. Pertama, basis *RC*, yang menggunakan resistor dan kapasitor untuk menghasilkan frekuensi pribadi. Basis *RC* ini hanya dapat menghasilkan frekuensi yang relatif rendah dan tidak stabil. Kedua, basis *LC*, yang menggunakan induktor dan kapasitor. Basis ini hanya dapat menghasilkan frekuensi tinggi dan tidak stabil. Basis ketiga adalah kristal. Ini dapat menghasilkan frekuensi yang stabil, akan tetapi tidak dapat menghasilkan frekuensi yang tinggi maupun yang rendah, melainkan hanya frekuensi tengah, lebih tinggi daripada basis *RC* dan lebih rendah daripada basis *LC*.

Dengan mengingat kelebihan dan kelemahan basis osilator tersebut diatas, maka pada makalah ini disajikan suatu osilator yang menggunakan perpaduan dua basis, yaitu basis *LC* dan basis kristal. *LC* diambil dari keunggulannya yang dapat menghasilkan frekuensi tinggi, sedangkan kristal diambil dari kestabilannya.

Rangkain dirancang dengan prinsip umpan balik, dimana sinyal umpan balik digunakan untuk mengunci frekuensi dan fasa *output*. Bentuk sinyal *input* bisa berupa sinyal sinus atau sinyal periodic

lainnya. Bagian utama rangkaian ini terdiri dari detektor fasa, *low pass filter* (LPF), dan *voltage controlled oscillator* (VCO). Blok diagram rangkaian ditunjukkan pada Gambar 5.1.



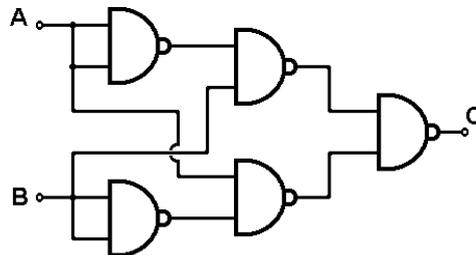
Gambar 5.1: Blok diagram rangkaian.

Bila *output* VCO dan osilator kristal (*quartz*) dimasukkan pada detektor fasa, dimana frekuensi dan fasa dari kedua *input* itu sama, maka detektor tidak menghasilkan *output*. Sebaliknya, jika ada perbedaan fasa, maka perbedaan itu dikonversi menjadi suatu tegangan *output* DC. Semakin besar perbedaan fasa atau frekuensi, maka semakin besar tegangan *output* detektor.

Tegangan *output* detektor ini bisa diumpangkan pada VCO sehingga frekuensi keluaran VCO akan bergerak menuju frekuensi osilator, dan akhirnya terkunci (*locked*) pada frekuensi osilator.

6. DETEKTOR FASA

Bagian utama rangkaian osilator dengan prinsip umpan balik ini adalah detektor fasa yang bertugas membandingkan fasa *input* signal dari VCO dengan suatu signal referensi, dimana sebagai *output*nya adalah beda fasa, yang dinyatakan dalam besaran tegangan. Adanya beda fasa akan memberikan keluaran sinyal yang selanjutnya, sinyal ini difilter oleh *low pass filter* dan diumpangkan kepada VCO. Rangkaian detektor fasa dapat disusun dari beberapa gerbang logika, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.1.

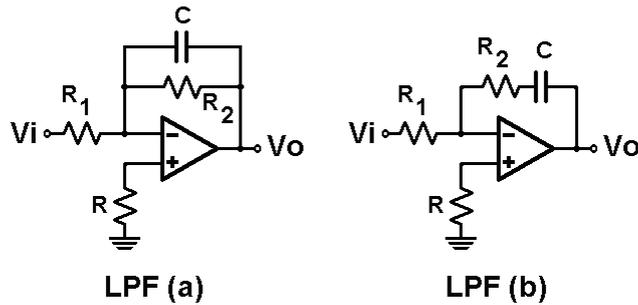


Gambar 6.1: Detektor fasa.

Lima gerbang logika *NAND* disusun membentuk rangkaian eksklusif *or* pada Gambar 6.1. Keluaran rangkaian logika tersebut akan menunjukkan beda fasa antara sinyal pada salah satu masukan terhadap sinyal pada masukan lainnya.

7. LOW PASS FILTER

LPF terdiri dari komponen penguat operasional, resistor, dan kapasitor. Rangkaian LPF diberikan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1: Rangkaian LPF.

Fungsi alih LPF untuk Gambar 7.1 (a) adalah :

$$FA = \frac{R_2}{s C R_1 R_2 + R_1}$$

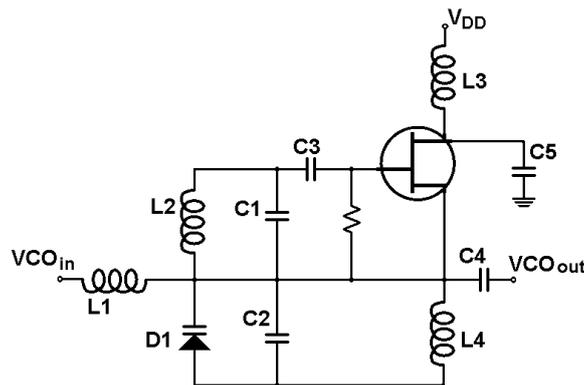
Sedangkan fungsi alih LPF untuk Gambar 7.1 (b) adalah ::

$$FA = \frac{s C R_2 + 1}{s C R_1}$$

Perbedaan antara dua LPF tersebut diatas adalah pada LPF (a) tanggapan frekuensinya mula-mula mendatar kemudian menurun, sedangkan LPF (b) menurun dulu baru mendatar.

8. RANGKAIAN VCO

Osilator Kristal adalah osilator yang paling stabil diantara osilator basis lainnya. Akan tetapi, frekuensi kristal paling tinggi hanya mencapai beberapa puluh mega hertz saja. Untuk menghasilkan osilator yang mengeluarkan sinyal sampai orde gega hertz, diperlukan rangkaian khusus yang menggunakan metoda umpan balik (*feedback*). Bagian yang menghasilkan sinyal frekuensi tinggi dari rangkaian ini adalah VCO (*voltage controlled oscillator*). VCO adalah suatu osilator elektronik dimana frekuensi keluarannya diatur oleh suatu tegangan *input DC*. Rangkaian VCO disajikan pada Gambar 8.1.

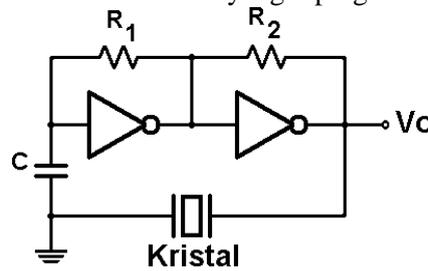


Gambar 8.1: Rangkaian VCO.

Frekuensi osilasi ditentukan oleh L1, D1 dan C2. Diode yang digunakan adalah diode varactor (varicap). Kebanyakan diode PN junction bersifat sebagai varicap jika diberi bias mundur (*reverse bias*) di bawah tegangan *breakdown*nya. Dengan bias mundur, diode akan bersifat sebagai kapasitor dimana daerah kosong (*depletion region*) menjadi dielektrik. Dengan mengubah tegangan *reverse* yang diberikan, lebar depletion region akan berubah sehingga nilai kapasitansinya juga berubah. Akibatnya, frekuensi resonansi rangkaian juga berubah.

9. OSILATOR KRISTAL

Sebagai pembangkit sinyal referensi, digunakan osilator Kristal. Rangkaian osilator kristal, yang mempergunakan dua peralatan, ditunjukkan pada Gambar 9.1. Pada rangkaian ini, harga frekuensi keluaran ditentukan oleh frekuensi kristal yang dipergunakan.



Gambar 9.1: Rangkaian osilator kristal yang mempergunakan dua gerbang inverter.

Pada osilator ini, umumnya frekuensi mempunyai nilai maksimum yang dibatasi oleh kemampuan komponen rangkaian terintegrasi, di mana dalam rangkaian ini dipergunakan dua gerbang peralatan. Untuk komponen yang ada di pasaran kebanyakan nilai kemampuan maksimumnya adalah sekitar 30 mega Hertz. Akan tetapi, ada juga komponen khusus yang mampu beresilasi sampai orde gega Hertz. Dalam hal penggunaan komponen rangkaian terintegrasi khusus ini, nilai maksimum frekuensi dibatasi oleh kesulitan mendapatkan kristal dengan frekuensi yang bernilai dalam besaran gega Hertz.

Untuk osilator yang disajikan pada makalah ini, digunakan osilator kristal yang dikombinasikan dengan osilator LC. Kombinasi rangkaian ini memungkinkan diperolehnya keluaran yang mengambil keunggulan dari osilator LC maupun kristal, sehingga didapat frekuensi yang relatif tinggi, stabil, dan dapat dibuat variabel. Ini adalah paduan dari beberapa kebaikan osilator LC dan kristal.

Dari tiga macam osilator, yaitu yang berbasis LC, RC, dan kristal, yang paling stabil frekuensinya adalah osilator yang berbasis kristal. Dengan komponen aktif yang ada, yaitu dalam hal ini gerbang logika, biasanya kristal yang dipergunakan mempunyai frekuensi beberapa mega Hertz. Harga R dapat diambil kira-kira 2,5 kilo ohm, dan C bernilai 40 piko farad, dengan kapasitas variabel. Nilai R dan C ini tidak mempengaruhi harga keluaran yang dihasilkan oleh osilator.

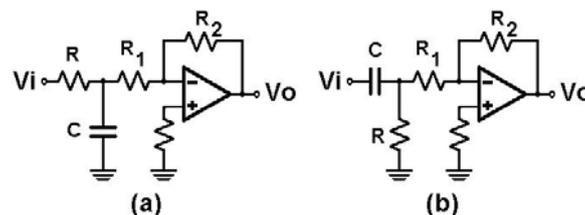
10. FASA VARIABEL

Pengaturan nilai fasa dapat dilakukan dengan rangkaian pada Gambar 10.1. Pada Gambar 10.1(a), tegangan keluaran mendahului (*leading*) dengan fungsi alih :

$$FA = \frac{R_2}{R_1 (1 + s C R)}$$

Pergeseran fasa :

$$\varphi = \tan^{-1} (\omega C R)$$



Gambar 10.1 : Rangkaian penggeser fasa (a) keluaran mendahului (b) keluaran membelakangi.

Pada Gambar 10.1(b), tegangan keluaran membelakangi (*lagging*) dan fungsi alih adalah :

$$FA = \frac{s C R R_2}{R_1 (1 + s C R)}$$

Pergeseran fasa :

$$\varphi = \cot an^{-1} (\omega C R)$$

Nilai pergeseran fasa, baik leading maupun lagging, diatur dengan mengatur nilai R atau C. Nilai R diatur dengan menggunakan potensiometer atau trimpot, sedangkan nilai C diatur menggunakan komponen variabel kondensator atau trimer.

11. PEMBAHASAN

Osilator yang dirancang pada penelitian *EMI* ini ditunjukkan pada foto Gambar 11.1.

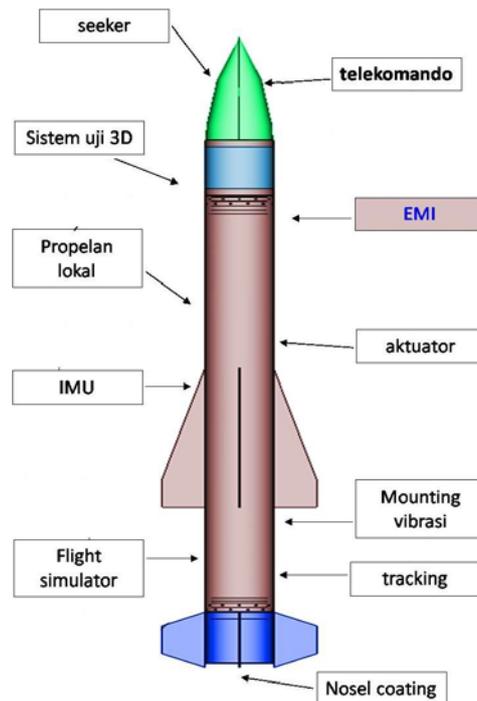


Gambar 11.1 : PCB rangkaian osilator.

Pada foto tersebut tampak dua potensiometer, yang digunakan untuk mengatur frekuensi dan pergeseran fasa. Dua keluaran adalah keluaran referensi dan keluaran dengan fasa yang tergeser.

Pengurangan atau penghilangan gangguan *EMI* sangat urgen dilakukan, khususnya pada wahana terbang, misalnya roket. Ini mengingat pengaruh yang sangat luas dan sangat mengganggu dari *EMI*. Pengaruh ini menyangkut keamanan dan kenyamanan, baik langsung misalnya terganggunya siaran radio dan televisi atau terganggunya syaraf manusia, maupun tidak langsung misalnya defleksi pada sistem kontrol yang mengakibatkan kecelakaan. Pada roket, pengurangan gangguan ini dimaksudkan untuk memperoleh sistem kontrol yang *EMC*. Upaya menekan *EMI* ini sangat efektif dengan menggunakan *shielding*, *filtering*, dan pengaturan tata letak komponen, seperti dilakukan pada riset ini.

Penempatan peralatan penekan *EMI* ini dipusatkan pada sekitar bagian hidung roket, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.2.



Gambar 11.2. Diagram roket dan penempatan peralatan penekan *EMI*.

Penempatan peralatan penekan *EMI* yang ditunjukkan pada Gambar 11.2 memungkinkan peralatan tersebut terisolasi dari temperatur tinggi dari motor roket. Disamping itu, lokasi *EMI* tersebut adalah didepan *CP* (*center of pressure*) dan didepan *CG* (*center of gravity*), sehingga akan meningkatkan kestabilan roket secara aerodinamik. Artinya, lokasi peralatan penekan *EMI* akan menggeser letak *CG* kedepan dibandingkan tanpa peralatan itu. Dengan penggeseran ini akan menambah jarak antara *CG* dan *CP*, dan meningkatkan margin kestabilan aerodinamik roket.

12. KESIMPULAN

- Lingkungan mendapat cemaran yang berupa *EMI* yang sangat merusak. Pengaruhnya mulai dari gangguan kecil pada penerima siaran radio, sampai terjadinya kecelakaan fatal yang disebabkan adanya cacat pada sistem kontrol di wahana terbang.
- Pada roket kendali, *EMI* sangat mengganggu kinerja *payload*, khususnya peralatan akselerometer dan *gyro*.
- Dari percobaan, *EMI* dapat merusak komponen elektronik, antara lain melalui lonjakan tegangan catu akibad *EMI*.
- Sistem kendali yang *EMC* dapat diperoleh dengan mengurangi atau mengeliminasi *EMI*.
- Disamping metoda *shielding* dan *filtering* pada penelitian ini digunakan pula metoda aktif, yang osilatornya telah dirancang dan disajikan pada makalah ini.
- Dengan gabungan beberapa metoda tersebut, diharapkan akan diperoleh hasil yang sangat efektif untuk mengatasi *EMI* pada *payload* roket kendali.

Disarankan bahwa :

- Penelitian mengenai *EMI* dan *EMC* ini perlu ditingkatkan.
- Filter yang digunakan ditingkatkan dengan filter digital dengan orde yang lebih tinggi, misalnya orde lima.
- Bahan untuk *shielding* ditingkatkan lagi dengan melakukan penelitian mutu bahan yang lebih baik, yaitu lebih ringan, kalor isolatif, dan karakteristik elektromagnetis yang sesuai. Ini bisa diperoleh dari bahan yang dihasilkan menggunakan teknologi nano.
- Perancangan osilator perlu ditingkatkan dengan range frekuensi yang lebih lebar, dan variasi bentuk gelombang yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

1. [ching] Ching-Fang Lin, 1991, *Modern Navigation, Guidance, and Kontrol Processing*, Volume 2, Prentice Hall.
2. [david] David Morgan, Paperback edition 2007, *A Handbook for EMC Testing and Measurement*, The Institution of Engineering and Tecknology, London.
3. [van] Jan van Tienhoven, Ing., 2009, *Innovative EMI Shielding Solutions*, Holland.
4. [jan] Jan W. Gooch, , John K. Daher, 2007, *Electromagnetic Shielding and Corrosion Protection for Aerospace Vehicles*, Springer, Atlanta GA 30318, USA.
5. [labar] Labarrere, M. & Gimonet, B., 1989, *Le Filtrage et ses applications*, SUP'AERO, ENSAE, Toulouse.
6. [lecom] Lecomme, P., Hardange, J.P., Marchais, J.C., and Normant, E., 2001, *Avi and Spaceborne Radar Sistems*, Sci Tech and William Andrew.
7. [lowen] Lowenberg, Edwin C., Ph. D., alih bahasa oleh Sutisno, 1995, *Rangkaian Elektronika*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
8. [tim] Tim Williams, Fourth edition 2007, *EMC for Product Designers*, ELSEVIER, Amsterdam.
9. [keith] Tim Williams, Keith Armstrong, First published 2000, *EMC for Sistems and Installation*, Newnes, Oxford.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA PRIBADI:

Nama : Sutisno
Tempat/Tgl. Lahir : Ponorogo, 17 Mei 1947
Pangkat / Gol. : Pembina Utama – IV/e
Jabatan : Peneliti Utama
Alamat : Kompl. LAPAN B -16, Rumpin, Bogor
Telepon & HP : (021) 71060458 & 081389829416
E-mail : bogor35@yahoo.com

DATA PENDIDIKAN :

1. S1 Jurusan Teknik Elektro, ITB (Bandung),
2. Pasca sarjana Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Dirgantara, ITB,
3. S2 Jurusan Teknik Telekomunikasi, ITB,
4. S2 Jurusan Teknik Telekomunikasi, ENSAE, Perancis,
5. Spesialisasi *Space Telecommunication*, Supaero (Perancis),
6. Sekolah penjenjangan pada Lembaga Administrasi Negara (LAN).

PENGALAMAN:

1. Dosen pada beberapa perguruan tinggi,
2. *Job training* pada AEROLAB Maryland, A.S.
3. *Job training* pada DFVLR Jerman Barat,
4. *Job training* pada ONERA Perancis,
5. Peneliti Ahli Utama TEKNOLOGI DIRGANTARA,
6. Menulis & menerjemahkan beberapa buku kuliah,
7. Pembicara pada beberapa lokakarya IPTEK di dalam & luar negeri,
8. Panitia / Pengarah pada beberapa seminar ilmiah.