

## PEREKAYASAAN SISTEM GIROSKOP GRAVITYMETER

*( Engineering Systems Gyroscope Gravimeter )*

**Bambang Triharjanto**

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"  
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan  
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

email: [bambangth@lemigas.esdm.go.id](mailto:bambangth@lemigas.esdm.go.id)

Teregistrasi I tanggal 18 April 2016; Diterima setelah perbaikan tanggal 8 Agustus 2016;  
Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2016.

---

### ABSTRAK

Pemakaian gravitimeter darat untuk pengukuran gayaberat dilaut memerlukan suatu sistem yang memiliki kestabilan posisi sudut inklinasi untuk mengeliminir pengaruh gelombang air laut, anti getar, sensitif dan cepat yang disebut Gyroskop. Persyaratam kestabilan dan posisi tegak lurus dengan permukaan bumi dalam pengukuran gravitasi dipenuhi dengan cara memasang sensor inklinasi dan motor kompensator (servo motor, servo kontroler dan program kendali programable logic controller) pada kedua pasang lengan penyeimbang X dan Y, serta system peredam getaran/goncangan berbantalan magnet. Hasil model skala laboratorium menunjukkan kinerja kestabilan posisi sangat akurat terhadap bidang datar, sedangkan peredaman getaran/goncangan 50% lebih baik dengan penggunaan kombinasi alat peredam berbantalan magnet dan bantalan angin (spring air).

**Kata Kunci:** gravity, giroskop bantalan angin.

### ABSTRACT

Gravitimeter use of land for the measurement of gravity at sea requires a system that has a stable position angle of inclination to eliminate the effect of sea waves, anti-vibration, sensitive and rapid called gyroskop Requirements of stability and a position perpendicular to the earth's surface in the gravity measurements are met by installing the sensor inclination and motors compensator (servo motors, servo controller and program control programmable logic controller) in the two pairs of arms counterweight X and Y, as well as the system damping vibration / shock cushion magnet. The results of the scale model laboratory performing positional stability is very accurate to the plane, while damping vibration / shock 50% better with the combined use of a silencer cushioned magnets and wind bearing (spring water).

**Keywords:** gravity, wind bearing gyroscope.

**I. PENDAHULUAN**

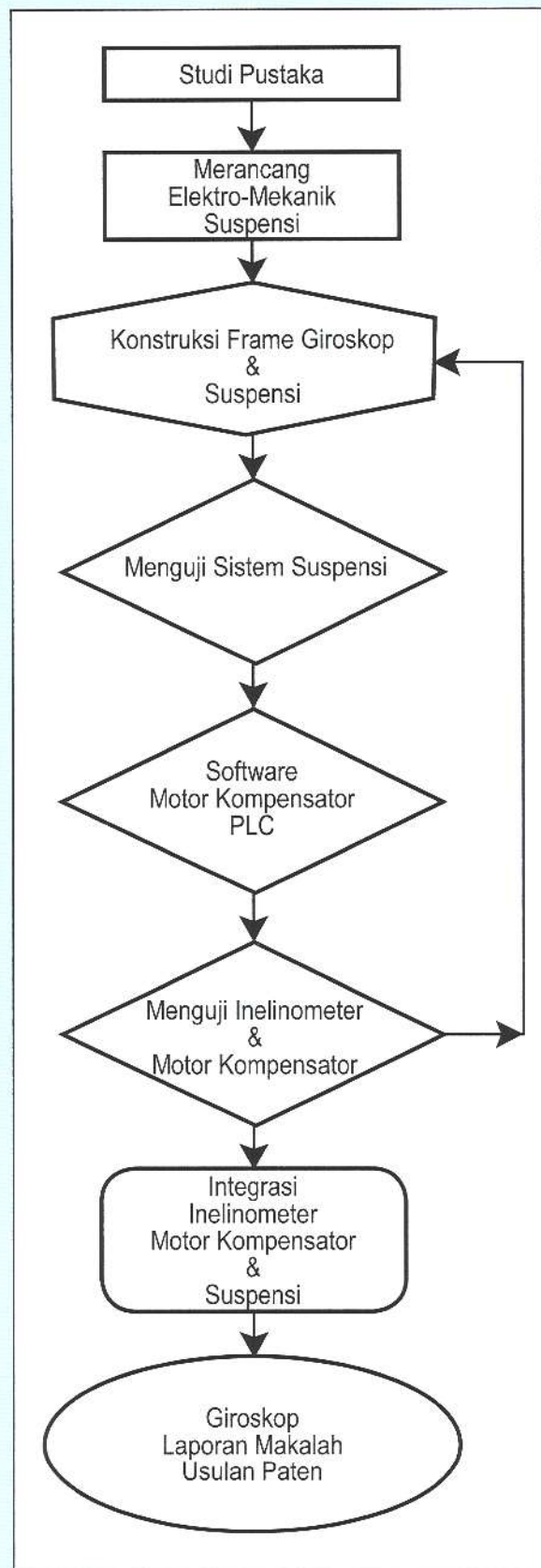
Lucien Lacoste dan rekannya Arnold Romberg adalah pelopor ilmu gravitasi modern karena di tahun 1932 menemukan alat pengukur gayaberat yang disebut gravitimeter. Penemuan alat tersebut terus dikembangkan dan dipergunakan oleh perusahaan eksplorasi minyak diseluruh dunia. Dalam sejarah perkembangan gravitimeter diawali dengan gravitimeter darat karena fokus penggunaannya dalam eksplorasi minyak banyak dilakukan di darat dengan sistem leveling sederhana (tripod), kemudian pencarian di era tahun 70 an dilakukan ekspansi eksplorasi kearah laut (dangkal dan dalam). Saat itulah mulai dikembangkan alat penstabil leveling yang lebih canggih dan rumit dari pada alat leveling pengukuran di darat, perangkat ini disebut sistem giroskop. Untuk pencapaian hasil survei gayaberat dengan area yang luas dengan waktu yang relatif lebih singkat, sistem giroskop tersebut kemudian dikembangkan untuk digunakan dalam pengukuran gayaberat melalui udara (*airborne gravity*).

Perekayasa giroskop untuk pencapaian kestabilan inklinasi 0 (*zero*) menggunakan sistem kontrol terhadap sumbu sumbu X dan Y secara otomatis melalui sensor inklinasi dan motor kompensator, Otomatisasi pengontrolan dilakukan keseluruhannya secara digital (Neal Babcock 2013) dan sistem peredaman getaran dan guncangan menggunakan peredam pegas pada sisi dan diagonal serta kombinasi suspensi berbantalan magnet dan bantalan angin untuk mengeliminir getaran berfrekwensi tinggi penyebab gangguan (*noise*) dalam perekaman. Sistem yang umum dipakai pengontrolan dilakukan dengan analog / semi digital dengan peredam getaran pegas berbahan karet dan jalinan benang sintetis.

**II. BAHAN DAN METODE**

Metoda yang dipergunakan dalam sistem giroskop gravitimeter untuk mencapai kestabilan leveling dan mengurangi efek noise karena getaran dan guncangan adalah menggunakan kompensator gerakan putar terbalik (*reverse*) yang mengacu pada sistem sensor inklinasi serta kombinasi penggunaan suspensi / peredam berbantalan magnet dan bantalan angin. Tahapan pelaksanaan perekayasa sistem giroskop gravitimeter laut dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahapan perekayasa diawali dengan studi pustakan mengenai beberapa jenis giroskop, sistem kendali otomatis, bahasa pemrograman, sistem elektro-mekanik, sensor inklinasi, peredaman



**Gambar 1**  
**Diagram alir metode perekayasa sistem giroskop gravitimeter laut (SG2L).**



getaran (shock) dan karakter magnet.

- Merancang / pembuatan cetak biru rancangan elektro-mekanik dan suspensi getaran berbantalan magnet.
- Konstruksi kerangka utama dan pendukung dari giroskop dan suspensi peredam getaran berbantalan magnet.
- Pengujian kinerja suspensi berbantalan magnet.
- Pembuatan perangkat lunak programmable logic controller untuk pengendalian servo motor kompensator / penstabil inklinasi.
- Pengujian sensor inclinometer dalam menggerakkan servo motor kompensator.
- Pengintegrasian sensor, programmable logic controller, servo motor controller, servo motor dan suspensi getaran berbantalan magnet dan angin.

#### A. Hasil Perekayasaan

Bagian-bagian utama dari sistem giroskop gravitimeter laut adalah :

- 4 buah bantalan angin pada setiap sudut bagian bawah kerangka utama
- 3 buah pegas pada setiap sudut kerangka penunjang dengan posisi pegas :  
1 pegas terkait pada titik sudut kerangka utama dan 2 pegas terkait pada tengah - tengah sisi kerangka utama yang saling tegak lurus (kerangka berwarna abu-abu Gambar 2).
- 4 buah peredam getaran dan guncangan sebagai suspensi yang dibangun dari 4 pasang bantalan magnet terpasang vertikal pada setiap sudut

bagian atas kerangka penunjang dengan setiap sudut bagian atas kerangka utama.

- 2 buah lengan giroskop X dan Y. Lengan giroskop Y pada titik tengah atau simetri lengannya terkait dengan motor servo dan terkait permanen pada tengah-tengah sisi kerangka penunjang, sedangkan titik simetri lainnya sebagai sumbu bebas. Pada titik tengah lengan giroskop X terkait dengan motor servo yang terkait permanen di tengah-tengah lengan giroskop Y.

Metoda kerja penstabil giroskop sebagai berikut :

Seperti pada *Gambar -2* dan *3* kedua inclinometer terpasang pada kerangka yang sama dan memiliki arah sensor dengan sumbu yang sama, namun diletakkan saling tegak lurus sejajar dengan lengan gerak giroskop X dan Y.

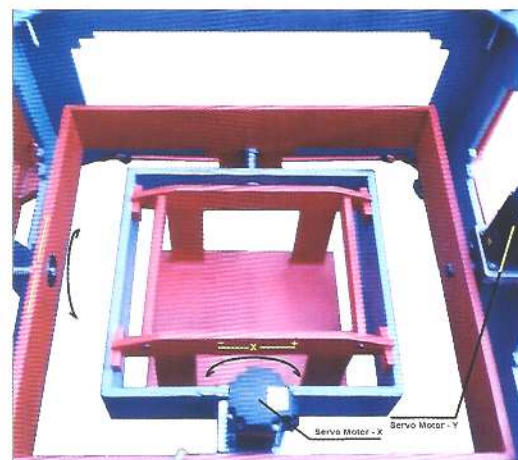
Jika kemiringan dari giroskop mengarah ke depan (Y+ dari *Gambar 3* ), maka sensor inclinometer Y akan memberikan data sudut kemiringan / inklinasi positif kemudian sistem programmable logic controller melalui serial modul input akan memerintahkan servo controller menggerakkan servo motor untuk mengeliminir sudut inklinasi yang terbentuk menjadi nol ( gerakan motor berlawanan dengan sudut inklinasi yang terbentuk), demikian juga untuk gerakan kearah X+.

Hasil dari perokayasaan ini merupakan satu set peralatan sistem giroskop sebagai penstabil posisi inklinasi alat ukur gravitimeter darat untuk pengukuran gayaberat di laut.

#### B. Resolusi cakupan kemiringan lengan-lengan giroskop



**Gambar 2**  
Perangkat keras sistem giroskop gravitimeter laut hasil perokayasaan.

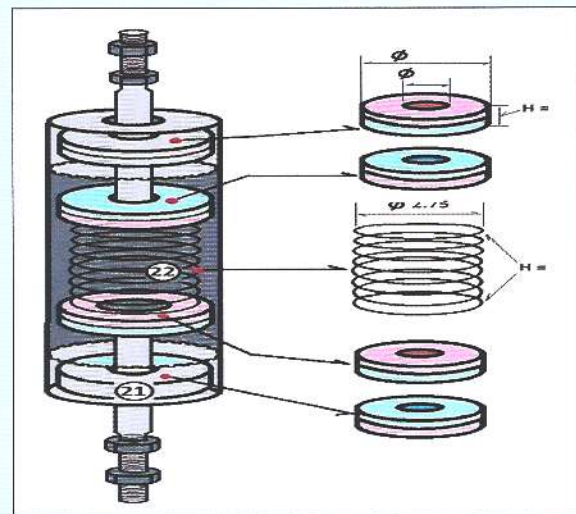


**Gambar 3**  
Prinsip dasar gerak penstabil giroskop gravitimeter laut.





**Gambar 4**  
Sistem kontrol gerak otomatis giroskop gravitymeter laut mengacu pada sensor inklinasi.



**Gambar 5**  
Konstruksi suspensi peredam getaran, guncangan Vertikal berbantalan magnet.

Terbatasnya memori pada servo motor controller sebagai sub sistem giroskop untuk menyimpan dan mengingat posisi gerak putar servo motor hanya 100 posisi menyebabkan resolusi cakupan kemiringan menjadi kecil. Sebagai contoh untuk gerakan putar +50° dan -50° (total 100°), maka untuk setiap 1 lokasi mengingat hanya 1°, sedangkan jika gerakan putar diperkecil +25° dan -25° maka 1 lokasi mengingat menjadi 0.5°.

Mengingat penggunaan giroskop ini mengukur gayaberat dilaut dengan menggunakan kapal dengan batasan inklinasi / kemiringan kapal 30° dan keterbatasan posisi memori servo controller 100, maka resolusi pengukuran inklinasi hanya 1° saja, persamaan resolusi diturunkan sebagai berikut :

$$E_{res} = 1 / ( n_m / d\theta \times 2 )$$

$n_m$  = Posisi memori

$d\theta$  = Batas inklinasi

$E_{res}$  = Resolusi (derajat)

Dari penurunan persamaan matematis diatas dapat disimpulkan untuk meningkatkan resolusi agar dapat mendeteksi perubahan kemiringan kecil (< 1°) dapat dilakukan dengan 2 cara yakni :

- Menambahkan lokasi mengingat posisi dengan cara modifikasi secara hardware (elektronika / pesan ke pabrikan).
- Memperkecil batas inklinasi yang diinginkan

Dikarenakan hasil dari perekeyasaan giroskop ini masih terbatas pada respon gerak dengan kemiringan minimum 1°, maka hasil dari pengukuran harus

dikoreksi terhadap sudut inklinasi sebenarnya yang diperoleh dari inclinometer. Sebagai contoh kemiringan yang terjadi adalah 2.5° ( 2°.30' ), respon giroskop 2°, maka nilai gayaberat terkoreksi adalah :

$$G_{cr} = G_r \sin \theta$$

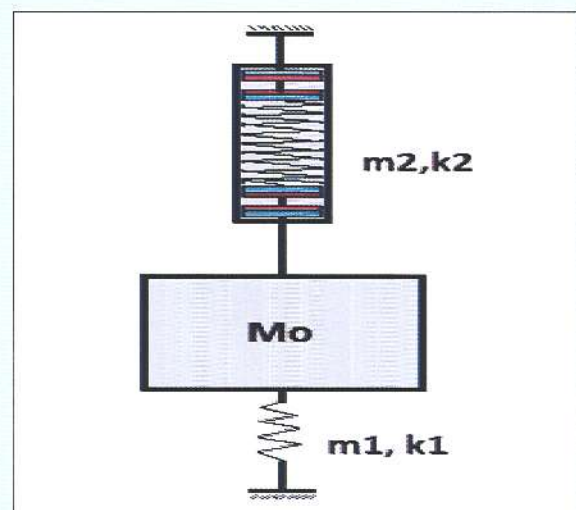
$G_{cr}$  = nilai gayaberat terkoreksi

$G_r$  = nilai gayaberat terukur

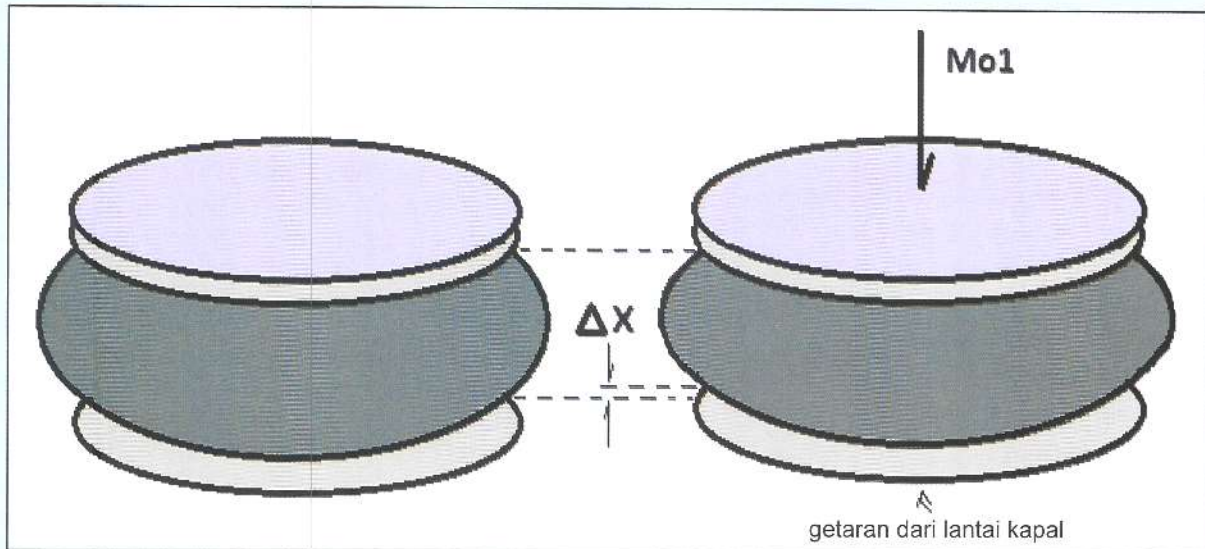
$\theta$  = selisih sudut inclinometer dan respon giroskop ( 0.5° atau 30' )

### C. Suspensi dan peredam getaran.

Peredaman getaran pada sistem giroskop



**Gambar 6**  
Ilustrasi matematis suspensi peredam getaran, guncangan Vertikal berbantalan magnet.



**Gambar 7**  
Ilustrasi matematis peredam getaran berbantalan angin bertekanan.

dibangun dengan 3 tipe peredaman, 2 tipe peredaman terpasang pada kerangka penunjang dan kerangka utama (*Gambar 2 dan 4*) dan 1 tipe terpasang pada sudut-sudut kerangka utama.

- a. Suspensi berbantalan magnet dan pegas sebagai peredam.

Konstruksi dari suspensi terdiri atas 2 pasang magnet ring tebal yang disusun saling bertolak belakang kutub-kutub magnetnya dalam kemasan tabung plastic foam, pada kedua sisi magnet bagian dalam tersambung 2 buah batang stainless berujung ulir yang dapat dibaut serta disisipi sebuah pegas

(atas dan bawah *Gambar -5*). Suspensi bantalan magnet ini dirancang sebagai pengganti pegas pada sistem giroskop pendahulunya yang berfungsi sebagai peredaman getaran dan guncangan pada arah vertikal dan terpasang pada keempat sudut atas kerangka penunjang dan kerangka utama, sedangkan peredaman kearah horisontal dilakukan oleh pegas-pegas pada keempat sudut bawah kerangka penunjang dan kerangka utama. Pegas-pegas tersebut berfungsi juga sebagai jangkar agar posisi kerangka penunjang selalu pada posisi tengah / sentris kerangka utama (*Gambar 2 dan 4*).



**Gambar 8**  
Konstruksi peredam getaran berbantalan angin bertekanan (orisinil).



**Gambar 9**  
Konstruksi peredam getaran berbantalan angin bertekanan hasil modifikasi.



Konstruksi dari sistem peredaman ini dapat dilihat pada gambar 5 dengan ilustrasi fungsi peredaman ( Gambar 6 ) diturunkan sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1 - k_2}{m_1 + M_0 + m_2}}$$

- $f_0$  = frekwensi natural sistem pegas
- $k_1$  = kostanta pegas sistem magnet
- $k_2$  = konstanta pegas
- $m_1$  = massa pegas
- $m_2$  = massa pegas sistem magnet
- $M_0$  = massa total lengan giroskop, Servo motor dan gravitimeter.

b. Peredam bantalan angin bertekanan.

Konstruksi peredam bantalan angin asli (original) dapat dilihat pada gambar 8, sedangkan gambar 9 adalah modifikasinya, peredam ini menggunakan bantalan karet sintetis bertekanan yang bisa diatur tekanannya di awal sebelum atau sesudah dipasang.

Peredam ini dipasang pada keempat sudut bagian bawah kerangka utama yang berfungsi sebagai peredam getaran berfrekwensi tinggi, Ilustrasi fungsi peredaman (Gambar 7) diturunkan sebagai berikut:

$$P(f) = \frac{k \cdot x + M_0 l}{A}$$

- $P(f)$  = frekwensi natural fungsi tekanan
- $k$  = konstanta elastisitas karet bantalan
- $x$  = simpangan perubahan bantalan karet

- $M_0$  = masa keseluruhan giroskop
- $A$  = luasan permukaan bantalan angin

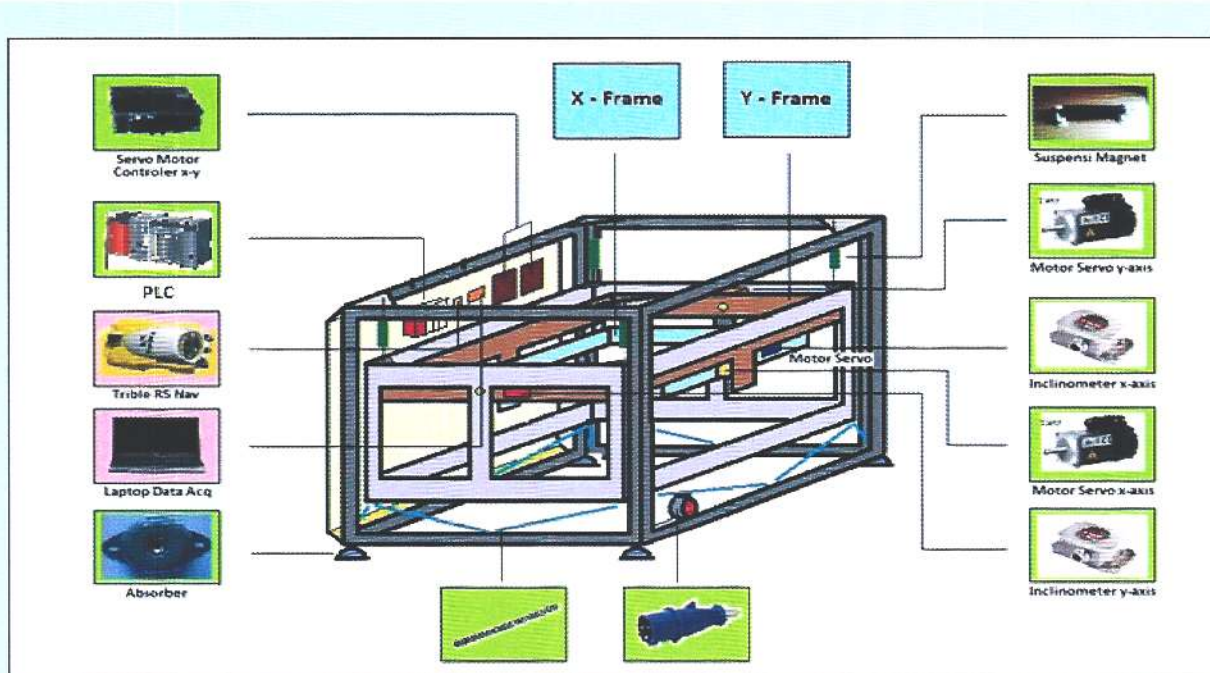
**D. Perangkat keras sistem giroskop dan pendukungnya.**

Sebagai alat bantu penstabil posisi inklinasi ( giroskop ) penggunaannya dalam suatu pengukuran gayaberat dilaut di butuhkan perangkat pendukung Laptop/Personal Computer dan GPS. Fungsi dari 2 perangkat pendukung ini adalah sebagai berikut :

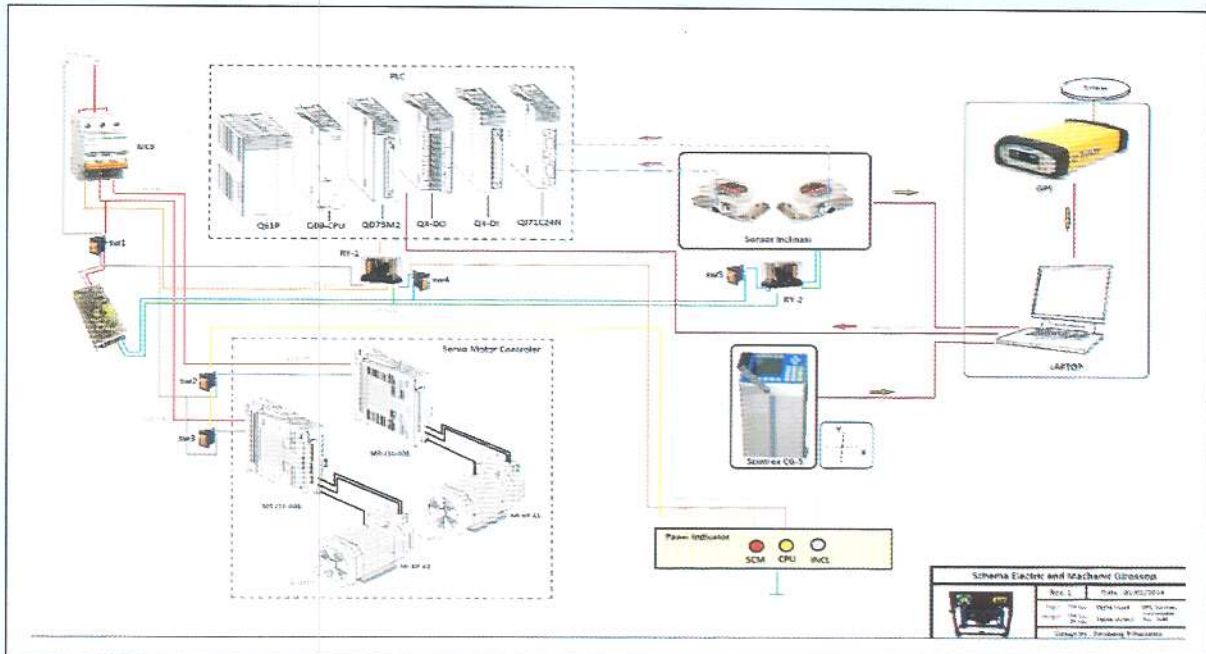
- a. Laptop / Personal Computer  
Perangkat ini merupakan penyimpan perangkat lunak ( software ) data akuisisi berupa peta navigasi titik survei gayaberat yang akan diukur, konfigurasi sistem data masukan dan keluaran (I/O), penyimpan data hasil pengukuran dan pre-prosesing data.
- b. GPS (Gobal Positioning System)  
Perangkat ini merupakan alat penentu posisi sebuah titik yang diukur pada daerah rancangan survei di laut.

**III. HASIL DAN DISKUSI**

Perekayasa instrumentasi geofisika sistem giroskop gravitimeter untuk pengukuran gayaberat dilaut dengan menggunakan alat ukur gravitimeter darat (SG2L) skala lab telah berhasil dibuat. Dalam pembuatan sistem giroskop berskala lapangan sistem sensor inklinasi menggunakan inclinometer



Gambar 10  
Diagram Perekayasa Sistem Giroskop SG2L



**Gambar 11**  
Sistem elektronik dan alat pendukung Giroskop.

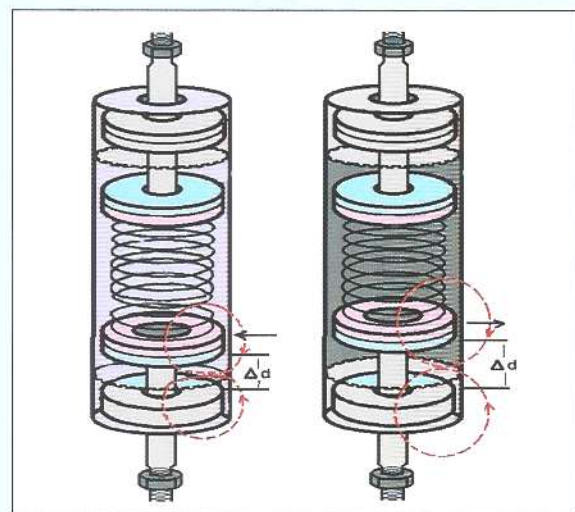
HCA 516 T-60, Sistem kontrol logik PLC serta sistem gerak mekanik servo motor HF-KP40 dan servo kontroler MR-J3 40B. Dalam uji coba yang dilakukan belum maksimal dalam sinkronisasi perubahan inklinasi (sudut kemiringan) lengan-lengan giroskop dengan pergerakan mekanik, Hal ini disebabkan belum memasukkan faktor rasio putaran servo motor dengan titik setimbang lengan giroskop yang menggunakan gear box.

Adapun perhitungan matematis yang dapat diturunkan dari spesifikasi servo motor kontroler dan servo motor terhadap ratio gear box ( $4:1 = 4$  pulse servo/motor : 1 pulse gear box), Sebagai contoh untuk mendapatkan pulsa pada servo motor kontroler dalam menggerakkan lengan giroskop adalah :

$$\begin{aligned} \text{Gap} &= -25 - +25 \\ \text{Revolusi servo} &= 600 \text{ pulsa, } 360 \text{ derajat} \\ \text{Resolusi Gear Box} &= 1 \text{ derajat / } 4 \text{ pulsa} \end{aligned}$$



**Gambar 12**  
Penempatan alat Gravitimeter darat pada giroskop untuk pengukuran gayaberat di laut.



**Gambar 13**  
Ilustrasi garis-garis gaya magnet pada percobaan 2 jenis tabung Suspensi bantalan magnet.(a) dengan tabung metal, (b) dengan tabung plastic foam.



Jadi Pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakkan servo motor adalah :

Pulsa Servo = Gap x Revolusi x Resolusi Gear Box

Perekayasa sistem giroskop ini seiring jalannya waktu mengalami beberapa perubahan desain berdasarkan analisis dan pertimbangan teknis sistem suspensi peredam getaran berbantalan magnet. Pada desain awal tabung suspensi terbuat dari logam / stainless steel, dari pengamatan yang dilakukan kekuatan garis-garis gaya magnet diantara pasangan magnet dan antar magnet cenderung melemah, hal ini disebabkan dinding tabung suspensi dari logam menghantarkan garis-garis gaya magnet sejajar dengan permukaan tabung sehingga daya tolak antar magnet yang dipakai sebagai suspensi / bantalan berkurang. Perubahan dilakukan pada tabung suspensi dengan bahan non logam (Plastic foam)

Penggunaan tabung suspensi berbahan non metal (*plastic foam*) meningkatkan daya tolak magnet pada tengah-tengah tabung suspensi (b), Hal ini disebabkan garis gaya magnet tidak mengalami induksi pada dinding tabung.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan PLC (Programable Logic Control) sangat membantu mempercepat response aksi dan reaksi terhadap perubahan inclinasi dan eksekusi pergerakan dari lengan-lengan giroskop, meringankan pengontrol seluruh system elektromekanik pada PC/ Laptop sebagai pusat komando input dan output dalam proses akuisisi data.

Untuk memaksimalkan proses kendali sistem giroskop (elektromekanik) perlu memasukkan program kecil yang menkonversikan data pulse servo kontroler dan servo motor (sinkronisasi pulse terhadap inklinalasi / perubahan sudut inclinometer) pada modul serial input pada PLC.

#### KEPUSTAKAAN

- Charles E. Crede, Cyril M. Harris**, 1976. *Shock and vibration handbook*. Mc Graw-Hill, Inc.
- David Crossley, Jacques Hinderer and Umberto Riccardi**, 2013. The measurement of surface gravity, *Reports on Progress in Physics*. Volume 74, Number 4.
- Dogan Ibrahim**, 2007. *PIC Microcontrollers*. Newnes.
- Jacob Farden**, 1996. *Handbook of Modern Sensors (Physics, Designs, and Applications)*. San Diego, California: Thermoscan Inc.
- Jacob Pieter den Harlog**, 1956. *Mechanical Vibrations*, Courier Dover Publications.
- Jon S. Wilson**, 2004. *Sensor Technology Handbook*. Newnes.
- Neal Babcock**, 2013. *Beginner's Guide To PLC Programming*, Modern Media Automation, LLC
- Nebojsa Matic**, 2009. *Introduction to PLC Controller*, MicroElektronika.
- Robin E. Bell, A.B. Watts**, 1986. The BGM3 Sea gravimeter evaluation. *Geophysics*, Vol. 51, No. 7, P. 1480-1493.
- Sabrie Soloman**, 1998. *Sensors Handbook*. McGraw Hill Professional.
- Suparjitno M.**, 2001. *Instrumentasi Geofisika*. Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Jakarta.
- U Riccardi, S Rosat and J Hinderer**, 2011. *Comparison of the Micro-g LaCoste gPhone-054 spring gravimeter and the GWR-C026 superconducting gravimeter in Strasbourg (France) using a 300-day*. BIPM & IOP Publishing Ltd.