

PENGUKURAN KEMIRINGAN *AIR-BEARING* MENGGUNAKAN AKSELEROMETER DAN TAMPILAN SECARA WAKTU-NYATA DENGAN VB OPENGL

Annisa Sarah, Hasan Mayditia
Pusat Teknologi Satelit - Lembaga Penerbangan dan Antariksa Negara
Pos El: annisa.sarah88@gmail.com

Abstrak

Sebuah satelit membutuhkan sistem sensor determinasi untuk menentukan sikap di luar angkasa. Sebelum diterbangkan ke luar angkasa perlu dilakukan pengujian di bumi dengan menggunakan *air-bearing* sebagai simulator satelit, yang mana platform ini memiliki gesekan yang sangat kecil dan dapat diabaikan sehingga dapat bergerak bebas seperti di luar angkasa. Tulisan ini menjelaskan perancangan dan pengujian sistem akuisisi akselerometer 3 sumbu untuk mengukur kemiringan *air-bearing*. Sistem akuisisi ini menggunakan mikrokontroler ATmega16, dengan perangkat lunak yang bekerja pada mikrokontroler menggunakan bahasa C, melalui antarmuka I2C. Data hasil keluaran sensor kemudian disajikan dalam bentuk grafik dan tampilan interaktif OpenGL dengan waktu nyata di Visual Basic. Dari hasil pengujian, nilai akurasi dan presisi untuk kemiringan sudut telah diperoleh.

Kata kunci: akselerometer, *air-bearing*, waktu nyata, *visual basic*, *OpenGL*.

Abstract

A satellite need sensor system to determine its attitude in space. For testing in earth, air-bearing have been used as the satellite simulator which have little friction and can be ignored where it can free move like on the outer space. This paper described of design and test of 3-axes accelerometer system to measure tilt of air-bearing. This system using ATmega16 microcontroller, with software using C language, via interfacing I2C. Output data will be presented in the graph and displayed in real time Visual Basic OpenGL. From the test results, the accuracy and precision of the tilt angle values have been obtained.

Keywords: *accelerometer, air-bearing, real time, visual basic, OpenGL.*

1. PENDAHULUAN

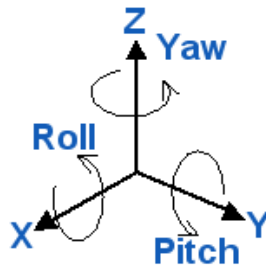
Akselerometer adalah sebuah perangkat yang dapat mengukur percepatan suatu objek [1]. Akselerometer yang ada di pasaran dapat mengukur percepatan pada satu arah atau lebih sehingga akselerometer dibedakan dari jumlah sumbu arah yang dapat diukur (single axis X, double axis X-Y atau triple axis X-Y-Z) [2]. Akselerometer memberikan keluaran tegangan sebagai respon dari percepatan yang diukur. Ketika terjadi percepatan maka tegangan yang dihasilkan akan naik, jika perlambatan maka tegangan akan turun dan jika kecepatan konstan atau percepatan nol maka output tegangan berada pada nilai tengah yang telah ditentukan. Akselerometer dapat digunakan untuk mengukur kemiringan (*tilt*) pada *air-bearing* dengan mengukur percepatan terhadap gravitasi bumi. Akselerometer akan diletakkan di atas *air-bearing* dengan salah satu sumbu tegak lurus dengan permukaan bumi.

Untuk mendapatkan resolusi pengukuran per derajat perubahan, akselerometer harus dipasang dengan sumbu sensitifnya sejajar atau paralel terhadap bidang gerakan [3]. *Air-bearing* merupakan simulator satelit yang dapat bergerak bebas seperti di luar angkasa, yang mana terdapat 6 kebebasan bergerak yang dianggap menjadi tiga sumbu dimensional, yang diorientasikan dengan pusat massa sebuah satelit, biasa disebut pitch (rotasi berpusat pada sumbu Y), roll (rotasi berpusat pada sumbu X), dan yaw (rotasi berpusat pada sumbu Z) dengan acuan yang ditetapkan.

Tujuan dikembangkannya sistem pengukuran ini antara lain untuk mengetahui distribusi massa untuk estimasi inersia *air-bearing*. Distribusi inersia yang seragam pada sumbu X dan Y akan membuat meja *air bearing* sejajar dengan lantai atau tegak lurus dengan batang penyangga *air-bearing*. Pemanfaatan sistem pengukuran ini berbeda dengan pemanfaatan platform-platform uji *air-bearing* sebelumnya, misalnya *air-bearing* yang terdapat di Laboratorium AIT Pusteksat LAPAN menggunakan gyroscope (sensor rotasi).

Sebelumnya, perancangan untuk mengukur sudut kemiringan engineering model satelit di atas *air-bearing* dengan menggunakan akselerometer 3-axis sudah pernah dilakukan oleh Munnik Haryant dan Nurwijayanti Kusumaningrum[1]. Dalam perancangan tersebut digunakan akselerometer tipe

LIS3L06AL. Data yang dikeluarkan oleh sensor tersebut dalam tegangan analog, jadi diperlukan konversi *analog to digital* supaya data yang dikirim ke komputer menjadi data digital. Sedangkan, dalam tulisan ini, akselerometer yang digunakan merupakan akselerometer digital, jadi tidak lagi memerlukan konversi *analog to digital*.



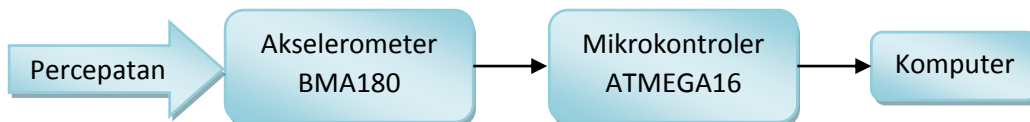
Gambar 1-1 Kerangka Pitch, Roll, dan Yaw



Gambar 1-2 Kerangka Pitch, Roll, dan Yaw pada *Air-Bearing*

2. METODOLOGI

Rancangan perangkat keras elektronik sistem ini meliputi sensor akselerasi digital tiga sumbu BMA180 dan board mikrokontroler ATmega16 [4]. BMA180 merupakan sensor akselerasi digital 3-axis berkinerja tinggi, dengan output 14 bit melalui digital interfacing 4-wires SPI atau 2-wires I2C, dengan range pengukuran $\pm 1g$, $1.5g$, $2g$, $4g$, $8g$, atau $16g$ [5]. Sistem ini menggunakan bahasa C untuk rancangan perangkat lunak yang bekerja pada mikrokontroler, dengan komunikasi antara sensor dan mikrokontroler melalui antarmuka I2C. Selanjutnya pengiriman command dan pemrosesan data, yang kemudian ditampilkan ke dalam bentuk grafik, dan tampilan interaktif OpenGL menggunakan GUI (Graphical User Interface) berbasis Visual Basic. Untuk gambaran umum sistem ini dapat dilihat pada blok diagram pada Gambar 2-1.

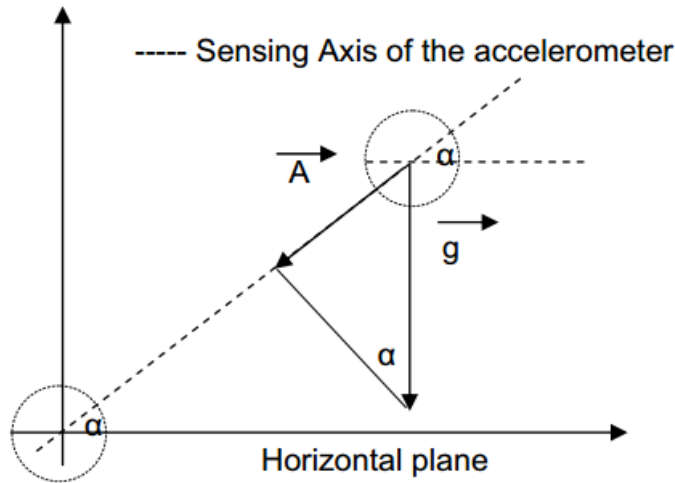


Gambar 2-1 Blok Diagram Rancang Bangun Sistem Akuisisi Akselerometer 3 Sumbu Untuk Mengukur Kemiringan *Air-Bearing*

Data hasil keluaran akselerometer dari mikrokontroler masih merupakan data mentah. Pengiriman data ke komputer menggunakan kabel serial to USB. Proses pengolahan data keluaran akselerometer dilakukan oleh perangkat lunak Visual Basic .NET. Data mentah diproses menjadi data

percepatan X, Y, dan Z, dan ditampilkan pada tampilan GUI. Selanjutnya data percepatan X, Y, dan Z tersebut digunakan untuk mencari sudut rotasi pitch dan roll.

2.1. Metode pengukuran kemiringan (tilt)



Gambar 2-2 Satu sumbu pada akselerometer untuk pengukuran kemiringan

Akselerometer pada sistem ini mengukur kemiringan (tilt) berdasarkan percepatan terhadap gravitasi bumi. Perubahan percepatan sama dengan $\sin \alpha$ antara salah satu sumbu dengan bidang horizontal [6], dengan persamaan seperti di bawah ini:

$$A = g \times \sin (\alpha) \tag{3-1}$$

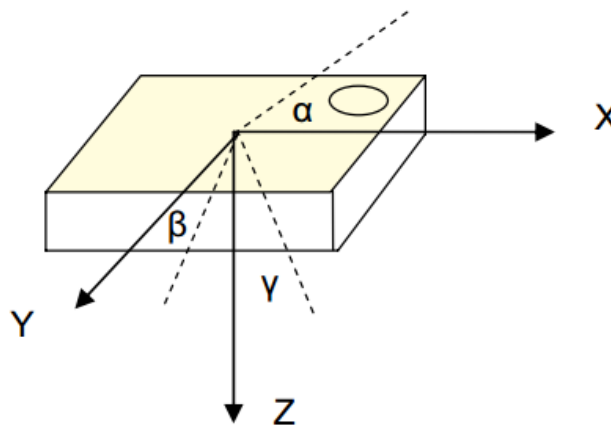
Menggunakan persamaan di atas, untuk menentukan sudut kemiringan (tilt) dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{A}{g} \right) \tag{3-2}$$

yang mana:

A : percepatan yang diukur

g : gravitasi bumi



Gambar 2-3 Sudut kemiringan pada akselerometer tiga sumbu

Untuk pengukuran akselerometer tiga sumbu, dapat dipakai parameter sumbu X, Y, dan Z untuk menghitung kemiringan. Dengan menggunakan rumus trigonometri, dapat dicari sudut kemiringan pitch dan roll, seperti persamaan berikut ini:

$$\text{Pitch} = \alpha = \arctan \left(\frac{A_x}{\sqrt{(A_y)^2 + (A_z)^2}} \right) \quad (3-3)$$

$$\text{Roll} = \beta = \arctan \left(\frac{A_y}{\sqrt{(A_x)^2 + (A_z)^2}} \right) \quad (3-4)$$

yang mana:

A_x : percepatan yang diukur pada sumbu X

A_y : percepatan yang diukur pada sumbu Y

A_z : percepatan yang diukur pada sumbu Z

Perhitungan akurasi dilakukan dengan menghitung selisih nilai yang terbaca oleh sensor dengan nilai sebenarnya dari kuantitas yang diukur. Sedangkan untuk perhitungan presisi dilakukan dengan menghitung selisih derajat perbedaan dari satu pengukuran ke pengukuran berikutnya. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \pm(B_n - C_n) \quad (3-5)$$

$$\text{Presisi} = \pm(C_n - C_{(n-1)}) \quad (3-6)$$

$$\text{Persentase Akurasi} = 100\% - \text{Persentase Kesalahan} \quad (3-7)$$

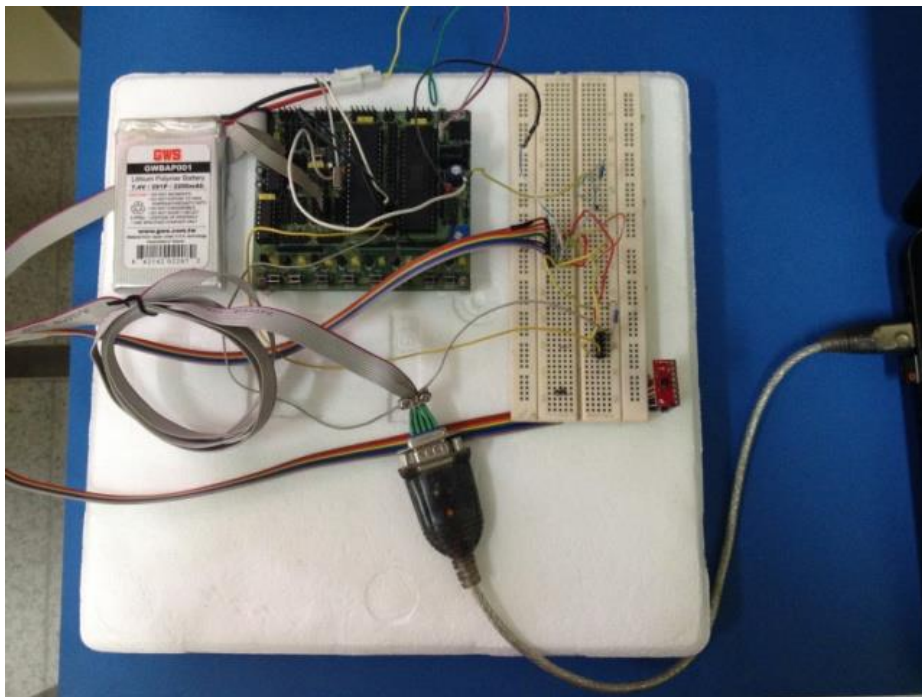
yang mana:

B_n : nilai sebenarnya

C_n : nilai yang terbaca oleh sensor

2.2. Perancangan sistem elektronik

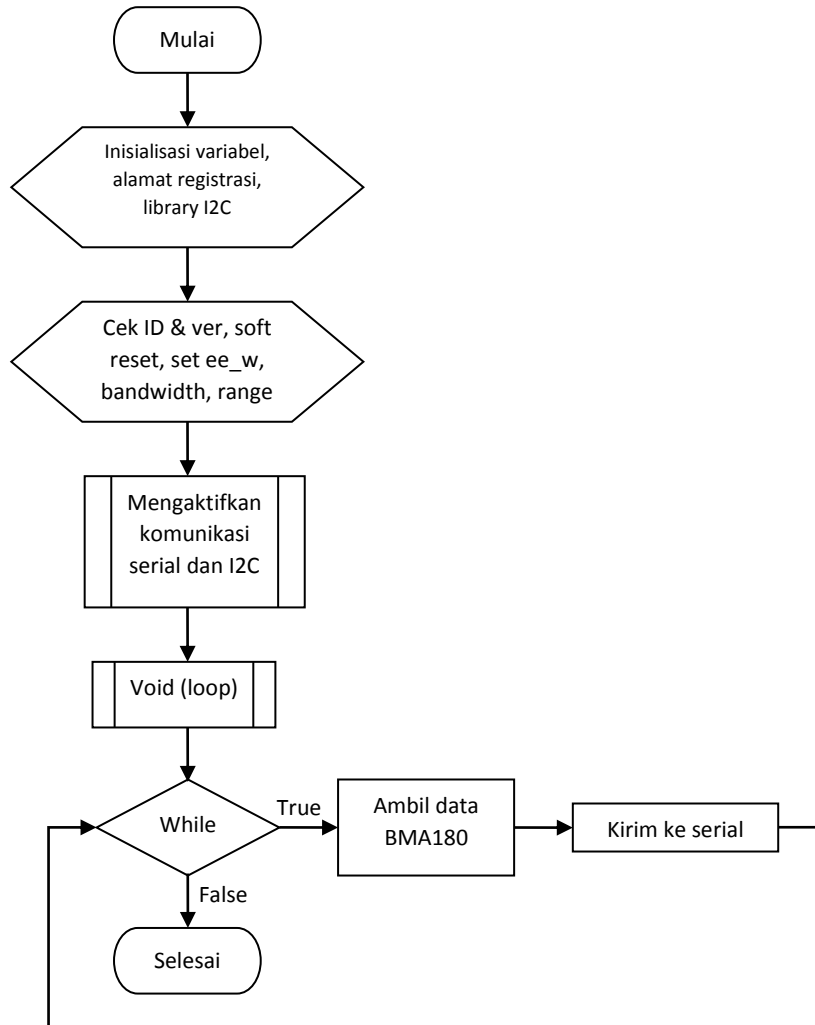
Perancangan sistem elektronik meliputi *board* mikrokontroler ATmega16 terhubung dengan PC melalui USB to Serial sebagai jalur komunikasi. *Board* mikrokontroler ATmega16 juga terhubung dengan BMA180 melalui antarmuka I2C.



Gambar 2-4 Perancangan sistem elektronik

2.3. Perancangan *Firmware* pada mikrokontroler

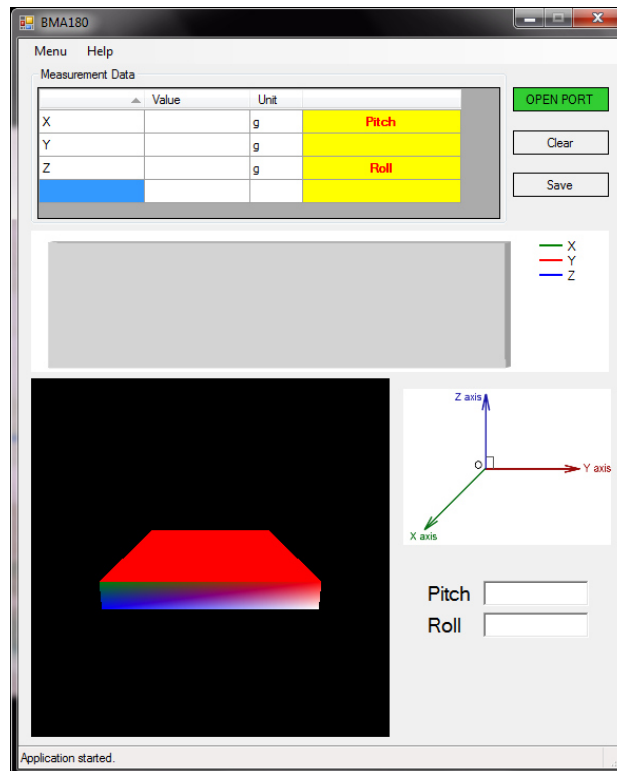
Perancangan firmware menggunakan bahasa C. Perancangan firmware mencakup komunikasi serial dengan PC dan komunikasi dengan akselerometer melalui antarmuka I2C.



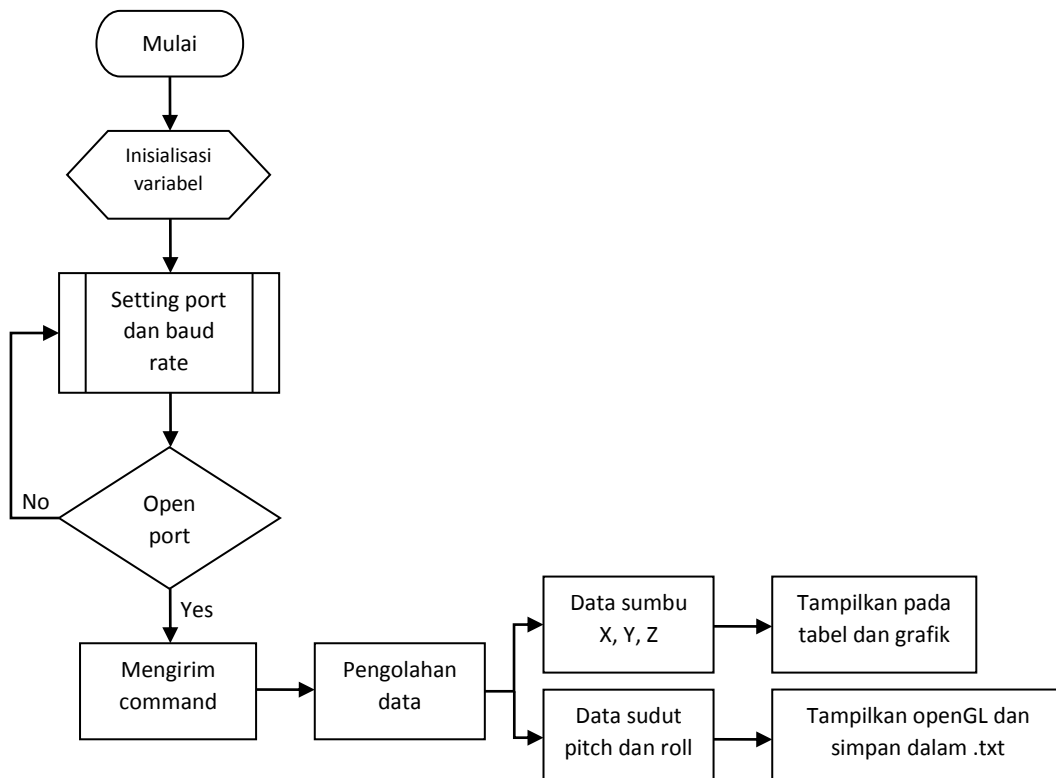
Gambar 2-5 Diagram Alir Sistem Akuisisi Data Sensor

2.4. Perancangan perangkat lunak (GUI)

Perancangan dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic berbasis .NET Framework. Perangkat lunak dilengkapi dengan grafik untuk interpretasi data dan tabel untuk menampilkan data yang diperoleh dari akselerometer secara waktu nyata. Data yang ditampilkan pada grafik mencakup percepatan yang diukur pada sumbu X, Y, dan Z dalam satuan g. Hasil perhitungan sudut pitch dan roll kemudian divisualisasikan ke dalam bentuk tiga dimensi untuk memperlihatkan animasi kemiringan sudut. Perhitungan tidak dilakukan pada sudut yaw, karena yaw merupakan rotasi yang berpusat pada sumbu Z dan tidak dapat dipakai untuk mengukur kemiringan. Tampilan GUI dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar 2-6. Pada Gambar 2-6, terdapat kerangka acuan koordinat untuk menjelaskan posisi obyek 3D. "X axis" menjelaskan sumbu X yang mengarah ke luar layar, "Y axis" menjelaskan sumbu Y yang mengarah ke kanan layar, dan "Z axis" menjelaskan sumbu X yang mengarah ke atas layar.



Gambar 2-6 Tampilan Awal GUI Rancang Bangun Sistem Akuisisi Akselerometer 3 Sumbu Untuk Mengukur Kemiringan Air-Bearing



Gambar 2-7 Diagram Alir Tampilan Pengukuran Kemiringan

2.5. Perhitungan Akurasi dan Presisi

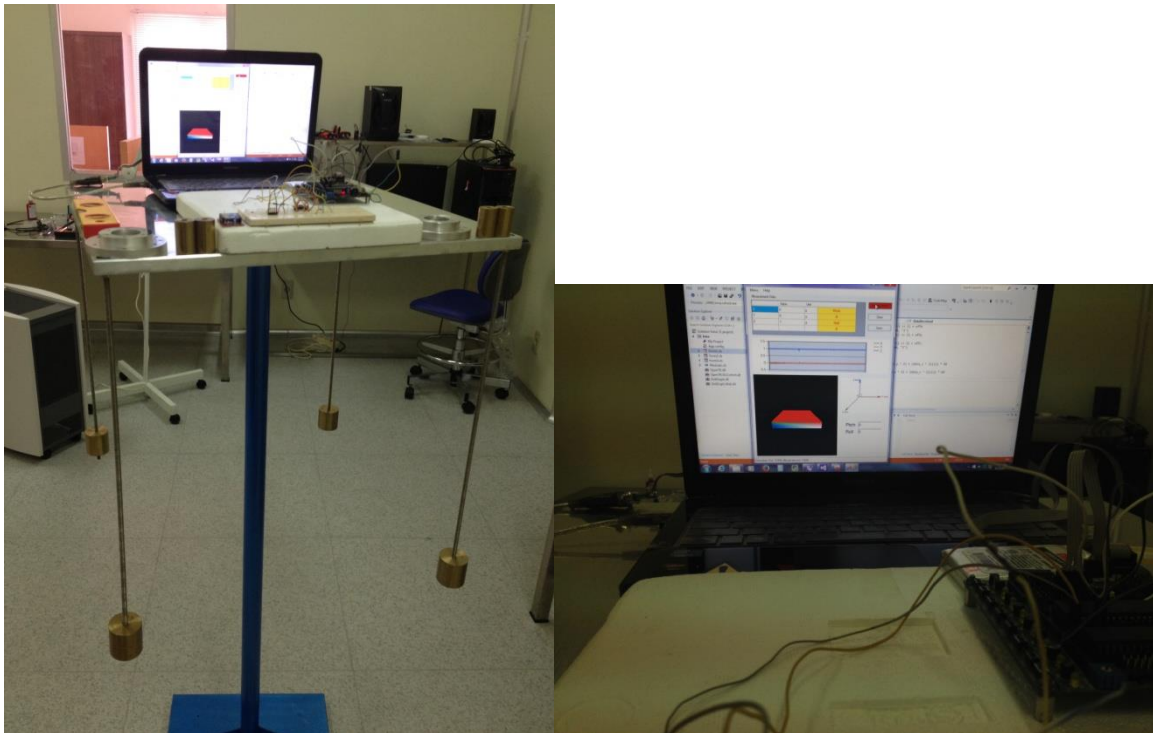
Hasil pengukuran akan dihitung tingkat akurasi dan nilai presisi dari pengukuran akselerometer tersebut untuk mengetahui kesalahan pengukuran yang terjadi. Kesalahan pengukuran adalah perbedaan

antara harga sesungguhnya dengan harga hasil pengukuran [7]. Kesalahan pengukuran ada dua jenis antara lain kesalahan sistematik (muncul karena kesalahan/kurang pemahaman pada instalasi pengukuran atau karena pemakaian yang salah. Satu “measurand” diukur dua/beberapa kali dengan alat dan metoda yang berbeda, memberikan hasil yang berbeda), dan kesalahan aksidental (kesalahan yang muncul karena sesuatu yang tidak tentu). Untuk mencari tingkat akurasi dan nilai presisi, kita harus melakukan pengambilan data pengukuran sebanyak mungkin [8]. Semakin banyak data yang diambil, semakin tinggi keakuratannya. Akurasi merupakan kualitas yang menunjukkan kemampuan instrumen ukur untuk memberikan hasil ukur yang mendekati nilai sebenarnya dari kuantitas yang diukur [9]. Sedangkan presisi menunjukkan kecermatan atau keterulangan dari hasil pengukuran [10]. Presisi ini menyatakan derajat perbedaan dari satu pengukuran ke pengukuran yang berikutnya dari suatu measurand tertentu.

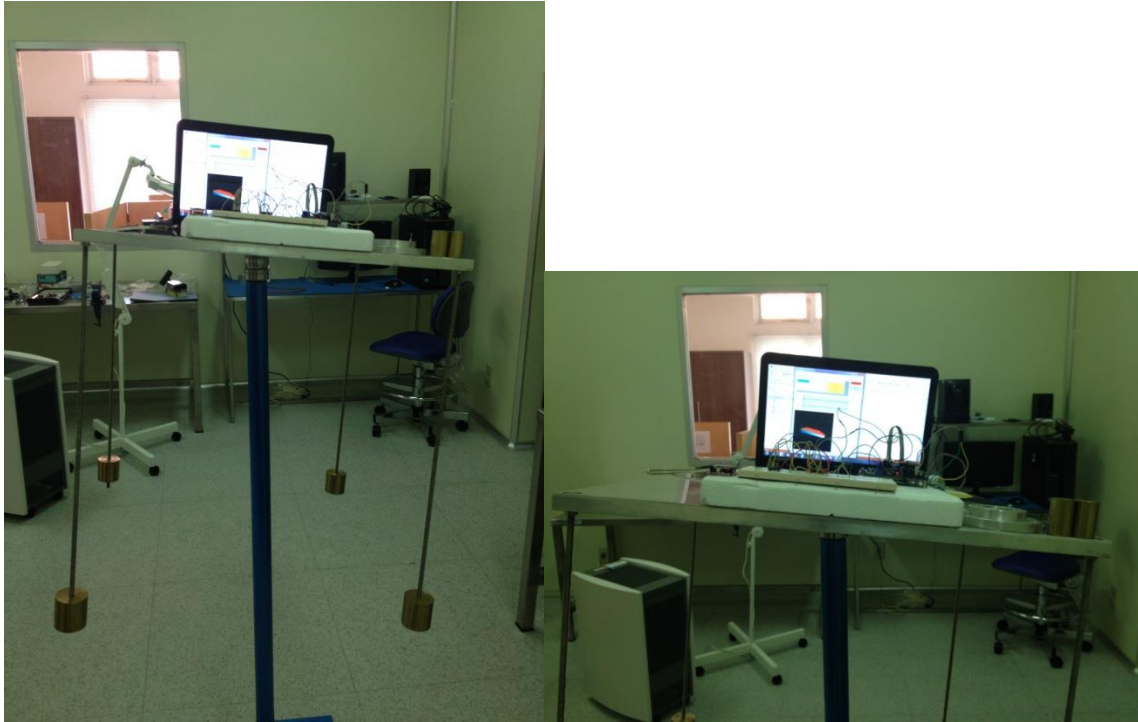
Metode yang digunakan untuk mencari nilai akurasi yaitu dengan menghitung rata-rata simpangan deviasi dari data yang diperoleh, sedangkan untuk mencari nilai presisi yaitu dengan menghitung rata-rata perbedaan dari pengukuran data1, data2, dan seterusnya. Pengukuran dilakukan dengan kalibrasi akselerometer dengan sudut rotasi $-90^\circ - 0^\circ - 90^\circ$ pada sumbu X dan Y, dengan variasi sudut rotasi 10° selama 60 detik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data keluaran akselerometer diambil dan disimpan, kemudian diinterpretasikan ke dalam bentuk grafik. Hasil pengukuran akselerometer divisualisasikan secara real time ke dalam bentuk grafik (untuk hasil keluaran percepatan X, Y, dan Z) dan tampilan OpenGL (untuk sudut kemiringan pitch dan roll). Pada Gambar 3-1, dapat dilihat pengukuran kemiringan pada saat kondisi *air-bearing* dengan sudut pitch 0° dan roll 0° . Dari gambar tersebut terlihat kondisi *air-bearing* yang sejajar dengan lantai atau tegak lurus dengan batang penyangganya. Kondisinya sejajar karena pada beberapa titik bidang *air-bearing* diberikan beban massa. Pada saat salah satu beban massa terserbut diambil dari bidang, kondisi bidang *air-bearing* akan menjadi tidak sejajar (miring), seperti dapat dilihat pada Gambar 3-2. Pada saat itu, sistem ini secara *real-time* mengeluarkan data kemiringan, yang kemudian ditampilkan ke dalam tampilan animasi.



Gambar 3-1 Pengukuran pada saat kondisi *air-bearing* yang sejajar dengan lantai atau tegak lurus dengan batang penyangga *air-bearing*

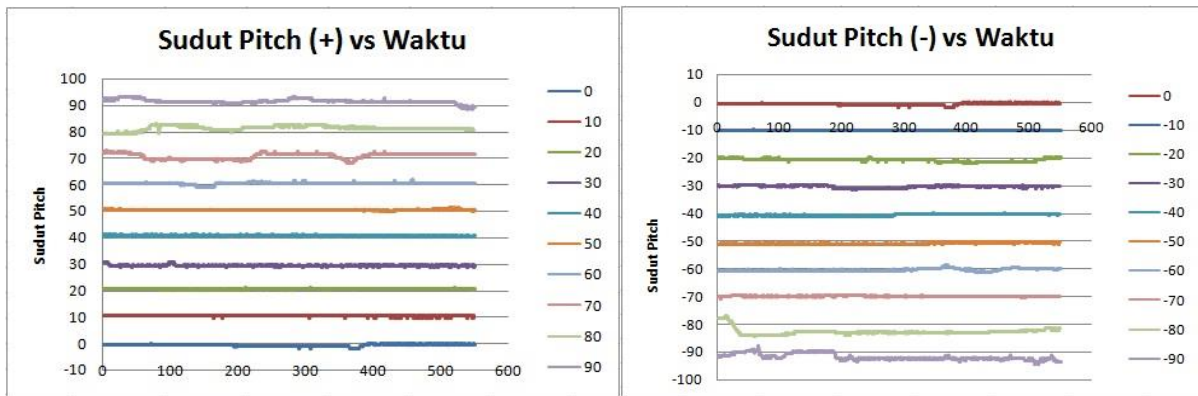


Gambar 3-2 Pengukuran Kemiringan Pada Saat Beban Di Atas Air-Bearing Diambil

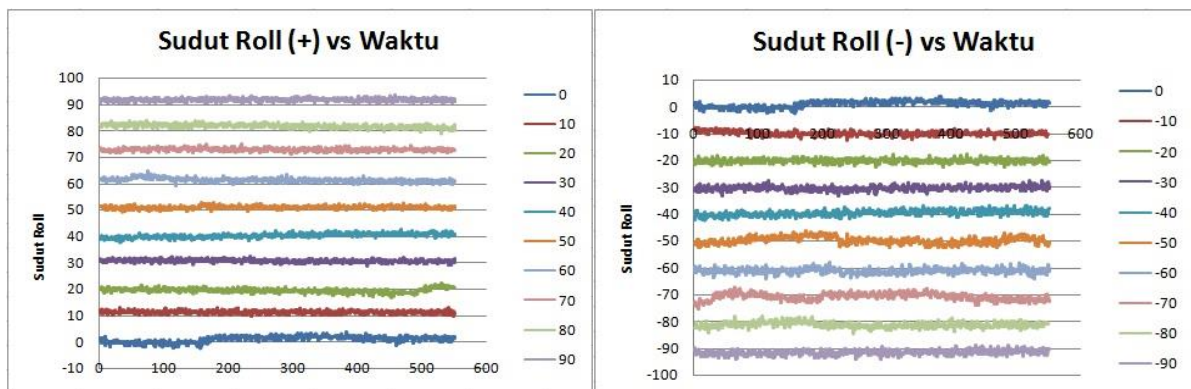
Hasilnya dapat dilihat pada Table 3-1, yang merupakan hasil keluaran rata-rata dari akselerometer. Kemudian hasilnya diinterpretasikan ke dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 3-3 dan Gambar3-4.

Tabel 3-1 Data Hasil Pengukuran Sudut Kemiringan Akselerometer dan Hasil Perhitungan Akurasi dan Presisi

Pitch (°)	Sudut Kemiringan (°)	Akurasi (°)	Presisi (°)	Roll (°)	Sudut Kemiringan (°)	Akurasi (°)	Presisi (°)
-90	-91.76	1.84	0.20	-90	-91.61	1.64	0.95
-80	-82.80	2.97	0.13	-80	-81.28	1.37	0.88
-70	-70.05	0.20	0.08	-70	-70.81	1.18	0.88
-60	-60.43	0.54	0.11	-60	-61.20	1.31	0.95
-50	-51.03	1.04	0.20	-50	-49.85	1.05	0.84
-40	-40.71	0.71	0.18	-40	-39.56	0.85	0.83
-30	-30.57	0.59	0.11	-30	-30.38	0.72	0.83
-20	-20.90	0.90	0.09	-20	-20.20	0.61	0.82
-10	-10.30	0.30	0.01	-10	-9.97	0.60	0.69
0	-0.75	0.60	0.10	0	0.92	0.92	0.76
10	10.26	0.30	0.07	10	11.22	1.22	0.66
20	19.75	0.44	0.04	20	19.46	0.76	0.62
30	29.36	0.67	0.23	30	30.65	0.72	0.57
40	40.59	0.59	0.19	40	40.27	0.68	0.63
50	50.58	0.59	0.06	50	50.98	0.99	0.53
60	60.57	0.68	0.04	60	61.27	1.29	0.60
70	70.89	1.25	0.10	70	72.77	2.77	0.60
80	81.36	1.48	0.14	80	81.70	1.71	0.68
90	91.39	1.46	0.11	90	91.68	1.68	0.66



Gambar 3-3 Grafik Sudut Pitch Terhadap Waktu



Gambar 3-4 Grafik Sudut Roll Terhadap Waktu

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Gambar 3-3. dan Gambar 3-4., grafik tersebut menunjukkan adanya tingkat akurasi yang cukup tinggi. Tingkat akurasi pengukuran sudut pitch adalah 97.95%, sedangkan tingkat akurasi pengukuran sudut roll adalah 96.93%. Nilai rata-rata presisi dari pengukuran sudut pitch sebesar 0.111730441, dan nilai rata-rata presisi dari pengukuran sudut roll sebesar 0.7415158. Dari grafik juga dapat dilihat terdapat riple/noise pada data akselerometer. Kecepatan pemrosesan data dari pemberian command sampai keluaran tampilan OpenGL yaitu 50 data/detik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran akselerometer menunjukkan bahwa akselerometer bisa digunakan untuk mengukur kemiringan *air-bearing*. Akselerometer ini lebih sensitif untuk mengukur sudut pitch, terutama pada pengukuran sudut pitch positif. Data hasil keluaran akselerometer disajikan dalam bentuk grafik dan tampilan interaktif OpenGL, sehingga pengukuran menjadi lebih menarik dan jelas. Dan dengan masih adanya masalah pada riple/noise dari data akselerometer, juga lebih sensitifnya pengukuran di sudut pitch, dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk memperbaiki data tersebut dengan menggunakan Gyroscoper dan Filter Kalman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Ir. Suhermanto, MT, Kepala Pusat Teknologi Satelit LAPAN, dan Bapak Abdul Karim, S.T., M.T., Kepala Bidang Teknologi Bus Satelit LAPAN, atas dukungannya sehingga tulisan ini bisa terselesaikan.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Texas Instrument, *Accelerometer and How They Work*, Retrieved from Texas Instrument.
- 2) Yuwono, Cahyo dkk, *Pengembangan Accelerometer berbasis Personal Computer Untuk Mengetahui Karakteristik Lari Jarak Pendek Menggunakan Teknologi Wireless*, PROFESIONAL, VOL. 8, No. 1, ISSN 1693-3745, 2010.
- 3) Freescale Semiconductor, *Measuring Tilt with Low-g Accelerometers*, AN3107, Rev. 0, 2005.
- 4) Atmel Corporation, *ATmega16 Data sheet*, 2466J-AVR-10/04.
- 5) Bosch Sensortec GmbH, *BMA180 Data sheet*, BST-BMA180-DS000-03, Ver. 2.1, 2009.
- 6) STMicroelectronics NV, *Tilt Measurement Using A Low-G3-Axis Accelerometer*, AN3182 Application Note, Doc ID 17289 Rev 1, 2010.
- 7) Sukirno, Dr. Santoso, *Karakteristik Sensor*, Modul Mata Kuliah Sensor 2 Departemen Fisika UI, 2005.
- 8) Sumanto, Didik. *Presisi Dan Akurasi Hasil Penelitian Kuantitatif Berdasarkan Pengambilan Sampel Secara Acak*, Jurnal Litbang Universitas Muhammadiyah Semarang.
- 9) Adamovics, J.A., *Chromatographic Analysis of Pharmaceuticals*, 2nd Edition, Marcel Dekker, New York, 1997.
- 10) Swartz, M.E., and Krull, I.S., *Analytical Method Development and Validation*, Marcell Dekker, USA, 1997.