

Akuisisi Data dan Kalibrasi pada Sistem Can Satellite (Cansat)

Muhammad Jaka Wimbang Wicaksono^{1*}, Eka Mutia Lubis¹, Dessy Oktani¹, Kamarudin¹,
Aditya Gautama Darmoyono¹, Rahmi Mahdaliza¹, Mu'thiana Gusnam¹, Ahmad Syafi'i¹,
Muhammad Naufal Airlangga Diputra¹, Danu Satia Nugraha¹, Muhamad Shafiq Abrajano¹,
Rezza Eka Syahputra¹

¹Politeknik Negeri Batam
Jurusan Teknik Elektro

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

*E-mail: jakawimbang@polibatam.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem akuisisi data dan kalibrasi pada Cansat, sebuah nanosatelit berukuran kecil yang dirancang sebagai solusi hemat biaya untuk pengumpulan data geografis dan spasial. CanSat mengukur data menggunakan sensor BME-280, MPU-9250, dan NEO-6M, lalu mengirimkannya melalui XBee ke GUI untuk mengontrol pelepasan *Heat Shield*, parasut, dan kaki. Data diuji dengan metode statistik dan dikirim menggunakan XBee S2C. Hasilnya, BME-280 memiliki standar error 0,35 dan deviasi 0,77 untuk suhu, serta standar error 0,06 dan deviasi 0,13 untuk tekanan udara. Pengukuran ketinggian memiliki standar error 0,02 dan deviasi 0,05. Sementara itu, MPU-9250 dalam pengukuran orientasi sudut memiliki rata-rata standar error 0,34 dan deviasi 0,77. Hasil perancangan dan pengujian pada sistem kontrol bedirinya kaki dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol berfungsi 80%.

Kata kunci: CanSat, Error, Komunikasi, GUI

Abstract

This study aims to develop and test a data acquisition and calibration system for CanSat, a small nanosatellite designed as a cost-effective solution for collecting geographical and spatial data. CanSat collects data using BME-280, MPU-9250, and NEO-6M sensors, then transmits it via XBee to a GUI for controlling the release of the Heat Shield, parachute, and legs. The data is analyzed using statistical methods and transmitted via XBee S2C. The results show that the BME-280 has a standard error of 0.35 and a deviation of 0.77 for temperature, and a standard error of 0.06 with a deviation of 0.13 for air pressure. The altitude measurement has a standard error of 0.02 and a deviation of 0.05. Meanwhile, MPU-9250 has an average standard error of 0.34 and a deviation of 0.77 for angle orientation measurement. The design and testing of the leg control system conclude that it functions at 80% efficiency.

Keywords: CanSat, Error, Communication, GUI

1. Introduction

Pesatnya perkembangan teknologi antariksa telah mendorong inovasi dalam berbagai skala, termasuk miniaturisasi sistem satelit. Can Satellite (CanSat), sebuah simulasi satelit berukuran kaleng minuman ringan, menjadi platform edukatif dan penelitian yang populer di kalangan pelajar, mahasiswa, hingga peneliti pemula [1]. CanSat memungkinkan pengembangan dan pengujian subsistem satelit esensial seperti akuisisi data sensor, pemrosesan, komunikasi, dan sistem daya dalam batasan biaya dan kompleksitas yang relatif rendah.

Salah satu aspek krusial dalam pengembangan CanSat adalah sistem akuisisi data. Sistem ini bertanggung jawab untuk mengumpulkan informasi dari berbagai sensor yang terintegrasi, seperti sensor tekanan, suhu, kelembaban, ketinggian, akselerasi, dan orientasi. Keakuratan data yang diperoleh sangat bergantung pada kualitas sensor yang digunakan dan proses kalibrasi yang tepat. Data yang akurat dan terkalibrasi menjadi landasan penting untuk analisis ilmiah, pengambilan keputusan, dan validasi performa misi CanSat secara keseluruhan. Penelitian oleh [2] menekankan pentingnya sistem akuisisi data yang handal dalam misi-misi satelit kecil, termasuk CanSat, untuk memastikan keberhasilan pengumpulan

informasi ilmiah yang valid. Lebih lanjut, studi komparatif mengenai arsitektur akuisisi data pada sistem embedded dapat ditemukan dalam [3], memberikan wawasan tentang pilihan desain yang optimal untuk aplikasi seperti CanSat.

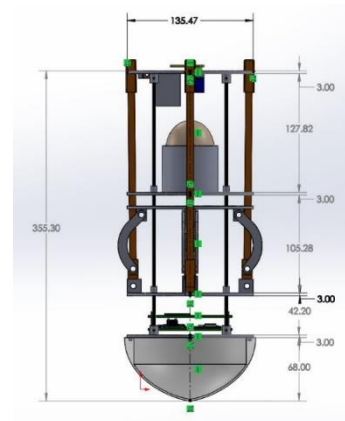
Namun, integrasi berbagai sensor dengan mikrokontroler dan sistem telemetri pada CanSat seringkali dihadapkan pada tantangan terkait noise, drift sensor, dan variabilitas karakteristik antar sensor. Oleh karena itu, implementasi prosedur kalibrasi yang efektif menjadi esensial untuk memastikan data yang dihasilkan reliable dan dapat diandalkan. Proses kalibrasi melibatkan penentuan karakteristik respons sensor terhadap input yang diketahui dan penerapan koreksi yang diperlukan untuk meminimalkan kesalahan pengukuran. Metode kalibrasi untuk berbagai jenis sensor telah banyak dibahas dalam literatur, termasuk dalam jurnal-jurnal yang fokus pada instrumentasi dan pengukuran [4, 5]. Secara spesifik, teknik kalibrasi untuk sensor tekanan dan suhu, yang umum digunakan dalam CanSat, telah dieksplorasi dalam [6] dan [7].

Paper ini bertujuan untuk menginvestigasi dan mengimplementasikan sistem akuisisi data yang handal dan prosedur kalibrasi yang tepat untuk berbagai sensor yang umum digunakan pada platform CanSat. Desain perangkat keras dan perangkat lunak untuk akuisisi data akan dijelaskan, diikuti dengan metodologi kalibrasi untuk setiap jenis sensor yang relevan. Selanjutnya, paper ini akan menyajikan hasil pengujian dan analisis terhadap data yang diperoleh sebelum dan sesudah kalibrasi, untuk mengevaluasi efektivitas prosedur kalibrasi yang diterapkan. Kontribusi utama dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis dan metodologis bagi pengembangan sistem akuisisi data dan kalibrasi yang akurat pada proyek-proyek CanSat di masa depan. Studi-studi sebelumnya, seperti yang dipublikasikan dalam [8], telah menyoroti pentingnya dokumentasi dan standarisasi dalam pengembangan CanSat, dan paper ini berupaya untuk berkontribusi pada aspek tersebut dalam konteks akuisisi data dan kalibrasi. Selain itu, analisis mengenai sumber-sumber kesalahan dalam pengukuran sensor dan strategi mitigasinya dapat ditemukan dalam [9], yang relevan untuk meningkatkan akurasi data CanSat. Akhirnya, implementasi praktis sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler untuk aplikasi aerospace skala kecil telah didokumentasikan dalam [10], memberikan konteks implementasi untuk penelitian ini.

2. Metodologi Penelitian

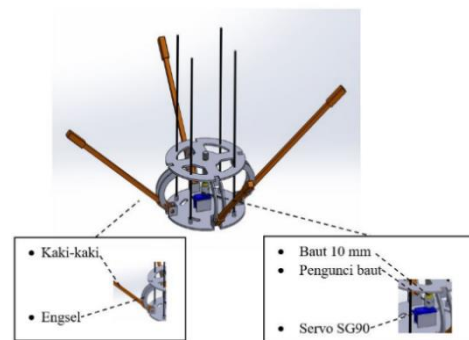
2.1. Perancangan dan Pembuatan Sistem Mekanikal

Perancangan dan pembuatan komponen mekanik pada sistem satelit ini ditunjukkan pada gambar 1 dimana menggunakan material PLA+ sebagai bahan utama untuk konstruksi CanSat (pilot).



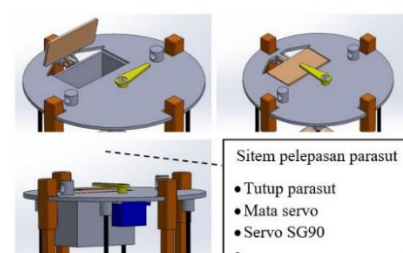
Gambar 1. Desain Mekanikal Pilot

Terdapat motor servo HS-85MG dan servo SG90 sebagai aktuator, mikrokontroler Teensy 4.0, baterai Li-ion 7,4 Volt 2500 mAh, sensor-sensor, serta GPS.



Gambar 2. Desain Mekanikal Heatshield and Legs

Pada Cansat pilot terdapat mekanisme *Heat Shield* dan kaki-kaki yang digerakkan menggunakan servo HS-85MG sebagai akuatator utama, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



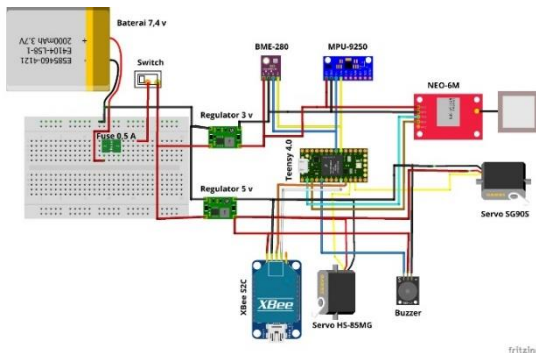
Gambar 3. Desain Mekanikal Parasut

Terdapat mekanisme parasut yang menggunakan servo SG90 untuk membuka dan menutup tutup parasut, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

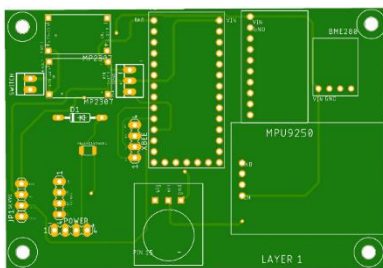
2.2. Perancangan dan Pembuatan Sistem Elektrikal

Dalam perancangan dan pembuatan elektrikal terdapat beberapa komponen yang digunakan. Komponen utama adalah satu unit mikrokontroler Teensy 4.0[6] sebagai penerima data sensor dan kamera, serta satu unit XBee S2C sebagai pengirim data ke software XCTU. Selain itu digunakan satu unit sensor BME-280 sebagai pengukur suhu tekanan dan

ketinggian, satu unit sensor MPU-9250 sebagai pengukur kemiringan dan kecepatan sudut, serta satu unit sensor NEO-6M yang digunakan sebagai pendeteksi koordinat lokasi Pilot. Sistem ini juga dilengkapi kamera yang berfungsi untuk memantau proses peluncuran dan pendaratan Pilot, serta dua unit servo yaitu servo HS-85MG dan servo SG90. Kebutuhan daya untuk mengoperasikan aktuator, mikrokontroler, sensor, komunikasi, dan komponen-komponen lainnya bersumber dari baterai Li-ion dengan kapasitas 7.4 volt dan 2500 mAh. Diagram blok yang menggambarkan detail sistem elektrik dapat dilihat pada Gambar 4. Pada gambar 5 merupakan desain layout dari rangkaian elektrik sistem cansat.



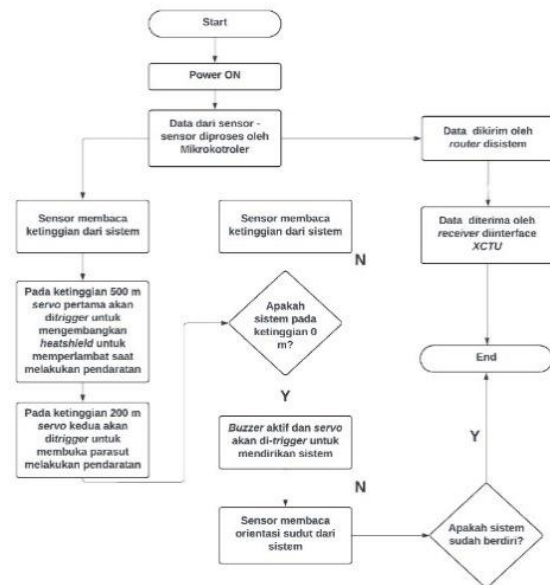
Gambar 4. Blok Diagram Elektrikal



Gambar 5. Desain PCB

2.3. Perancangan dan Pembuatan Sistem *Flight Software*

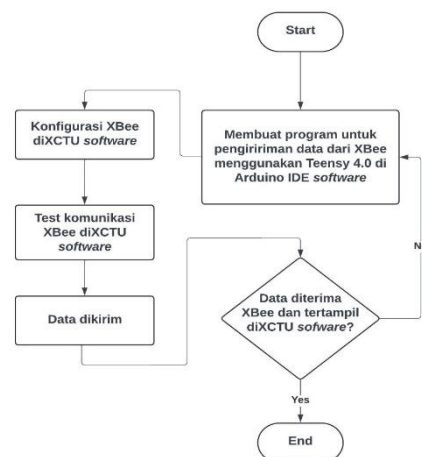
Perancangan dan pembuatan system perangkat lunak penerbangan (*flight software*) dijelaskan pada gambar 6, langkah pertama adalah melakukan konfigurasi antara modul XBee terlebih dahulu menggunakan software XCTU diikuti dengan kalibrasi sensor. Selanjutnya dilakukan uji coba komunikasi antara modul XBee menggunakan mikrokontroler. Data sampel dari sensor kemudian dikirimkan ke antarmuka pada perangkat lunak XCTU untuk memastikan komunikasi berjalan dengan baik.



Gambar 6. Flowchart Sistem Cansat

Sistem kontrol pada pembuka *Heat Shield*, parasut, dan kaki-kaki dirancang untuk memanfaatkan pembacaan ketinggian dari sensor BME-280 sebagai pemicu *trigger* bagi servo. Ketika CanSat sudah mencapai rentang ketinggian yang sudah diinisialisasi dalam program, servo akan diaktifkan untuk membuka *Heat Shield*, parasut dan kaki-kaki. Sistem yang pertama memicu servo HS-85MG untuk membuka *Heat Shield* yang berfungsi memperlambat kecepatan Cansat saat turun. Sistem kedua memicu servo SG90 untuk membuka parasut guna menstabilkan dan mengurangi kecepatan saat CanSat mendekati permukaan. Sistem ketiga kembali memicu servo HS-85MG untuk membuka kaki-kaki memastikan pilot dapat berdiri tegak setelah pendaratan.

2.4. Perancangan dan Pembuatan Komunikasi Xbee



Gambar 7. Flowchart Sistem Cansat

Perancangan dan pembuatan sistem komunikasi XBee ini dilakukan untuk memastikan bahwa pengujian dapat berjalan dengan baik yang dijelaskan pada gambar 7. Langkah pertama adalah konfigurasi XBee,

yaitu mengatur tugas XBee sebagai *Coordinator* dan Router, sehingga dapat saling berkomunikasi. Kedua, pembuatan komunikasi XBee melalui mikrokontroler Teensy 4.0.

2.5. Pengujian

Supaya dapat berkomunikasi ada beberapa parameter XBee yang perlu dikonfigurasi terlebih dahulu sebelum digunakan, konfigurasi ini dilakukan di software XCTU. Parameter yang dimaksud adalah Personal Area Network Identifier (PAN ID), Join Verification (JV), Destination Address High (DH), Destination Address Low (DL), dan Coordinator Enable (CE).

Pengukuran dilakukan dengan mengambil 10 data berulang dari masing-masing 5 percobaan. Pengolahan data dilakukan untuk mencari kepresisian sensor menggunakan metode statistika dengan tipe data parameter, tujuannya adalah untuk menggambarkan karakteristik populasi. Berikut merupakan rumus dalam metode statistika dengan tipe data parameter, yang terdiri atas rumus deviasi (1), varians (2), standar deviasi (3), dan standar *error* (4). Namun, saat mencari nilai deviasi, nilai rata-rata sampel diganti menjadi nilai dari alat ukur pembanding.

Pengolahan data guna mencari persentase *error* (5) pengukuran berguna untuk mengetahui tingkat akurasi dari sensor. Hal ini didapatkan dari pembagian nilai selisih pembacaan sensor (rata-rata perpopulasi) dan alat pembanding dengan nilai alat pembanding kemudian dikalikan 100 %. Namun, perhitungan (5) pada excel ditambahkan fungsi ABS agar hasil perhitungan menjadi nilai yang absolut.

$$\sigma = \mu - x \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\mu - x)^2}{n} \quad (2)$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum(\mu - x)^2}{n}} \quad (3)$$

$$S_e^\sigma = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{x - \mu}{\mu} \\ &\times 100\% \end{aligned} \quad (5)$$

Keterangan :

σ : Deviasi/Selisih.

σ^2 : Varians.

σ_d : Standar Deviasi.

S_e^σ : Standar *Error*.

μ : Nilai alat ukur pembanding.

x : Nilai pengukuran sensor.

n : Jumlah populasi

Pengujian pada sensor dilakukan dalam 4 tahap yaitu:

2.5.1. Pengujian Sensor BME-280 (Suhu)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sensor BME-280 terhadap pengukuran suhu lingkungan. Pengambilan data pada suhu dilakukan dengan menggunakan alat pembanding Temperature Meter dan menggunakan *hair dryer* sebagai pemanas. Pembacaan nilai suhu dalam satuan derajat celcius (°C). Pengukuran dilakukan sebanyak 10 data berulang dari setiap 5 percobaan dengan mengambil rentang suhu, dimulai dari suhu normal hingga suhu yang meningkat.

2.5.2. Pengujian Sensor BME-280 (Tekanan)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sensor BME-280 terhadap pengukuran tekanan udara. Diketahui tekanan udara standar adalah sekitar 1013.25 hPa (hectopascals) atau 1 atm (atmosfer). Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat pembanding Altimeter. Pembacaan nilai tekanan dalam satuan hectoPascal (hPa). Pengukuran dilakukan sebanyak 10 data berulang dari setiap 5 percobaan dengan mengambil rentang tekanan terhadap ketinggian.

2.5.3. Pengujian Sensor BME-280 (Ketinggian di atas Permukaan Tanah)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sensor BME-280 terhadap pengukuran ketinggian di atas permukaan tanah. Sensor BME-280 juga mampu mengukur ketinggian di atas permukaan laut dengan membandingkan tekanan udara pada permukaan laut. Nilai ketinggian dibaca dalam satuan meter (m). Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali untuk setiap percobaan, dengan total 5 percobaan dengan rentang ketinggian mulai dari 1 m hingga 5 m.

2.5.4. Pengujian Sensor MPU-9250 (Orientasi Sudut)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensor MPU-9250 dalam mengukur rotasi dan perubahan orientasi. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali untuk setiap percobaan, dengan total 5 percobaan pada masing-masing sumbu X, Y, dan Z. Pengujian menggunakan alat pembanding berupa busur derajat, dengan rentang sudut mulai 10°, 30°, 50°, 70°, hingga 90°.

3. Hasil dan Pembahasan

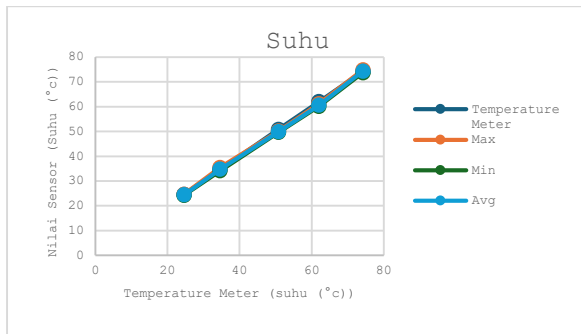
3.1. Hasil dan Pembahasan Pengujian Sensor BME-280 (Suhu)

Tabel 1. Data Sensor BME280 (Suhu)

No.	n	1	2	3	4	5
-----	-----	---	---	---	---	---

	suhu (°C)	Temperature Meter	24.6	34.6	50.8	62	74.2
1.		Sensor	24.44	34.22	50.12	61.13	74.19
2.			24.61	34.43	50.07	60.97	74.06
3.			24.54	34.86	50.03	60.83	73.68
4.			24.39	35.28	49.97	60.7	73.8
5.			24.38	35.45	49.92	60.58	74.48
6.			24.35	35.17	49.85	60.47	74.79
7.			24.34	34.91	49.78	60.39	74.81
8.			24.35	34.53	49.71	60.31	74.46
9.			24.18	34.12	49.64	60.23	74.1
10.			24.3	34.32	49.57	60.15	74.88

Sebelum mencari nilai deviasi, dilakukan penentuan nilai minimum, maksimum, dan rata-rata dari setiap populasi menggunakan rumus excel yang ditampilkan pada tabel 1. Fungsi MIN untuk mencari nilai terkecil (minimum), fungsi MAX untuk mencari terbesar (maksimum) dan fungsi Average untuk menghitung rata-rata dari setiap populasi. Tabel 1 menunjukkan nilai minimum, maximum dan rata-rata dari setiap populasi dari sensor BME-280 terhadap pengukuran suhu. Nilai-nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai Temperature Meter) alat ukur pengukuran suhu digunakan untuk menghasilkan grafik.

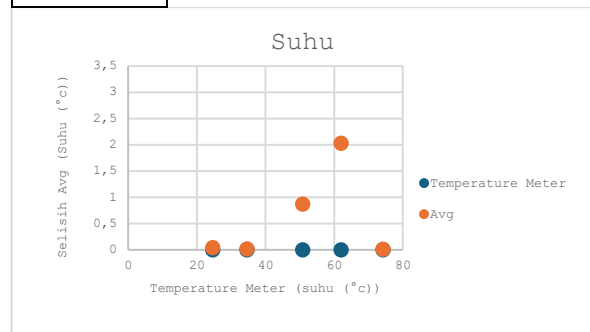


Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Minimum, Maximum, dan Average dari Suhu

Berdasarkan hasil grafik pada gambar 8, nilai yang digunakan sebagai nilai x (pengukuran sensor), adalah nilai rata-rata (average) dari setiap populasi. Hal ini dipilih karena nilai rata-rata merupakan nilai yang paling mendekati besaran yang diukur oleh alat pembanding. Selanjtnya, nilai deviasi dihitung menggunakan rumus (1) dengan hasil yang dijabarkan pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai deviasi dari tiap populasi pengukuran suhu

<i>n</i>	1	2	3	4	5
°C	24.6	34.6	50.8	62	74.2
σ	0.21	-0.13	0.93	1.42	-0.13
$(\sigma)^2$	0.04	0.017	0.87	2.03	0.016
Total = 2.98					



Gambar 9. Grafik Perbandingan Antara Nilai Deviasi Terhadap Nilai Alat Pembanding Suhu

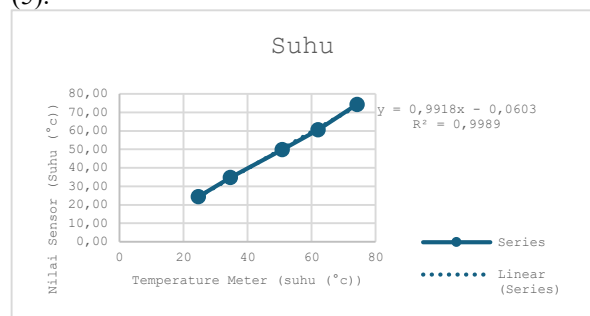
Berdasarkan data dari hasil pengujian sensor pada gambar 9, maka berikut ini adalah pengolahan data menggunakan metode statistik untuk menentukan karakteristik populasi dari sensor BME-280 dalam pengukuran suhu.

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\mu - x)^2}{n} = \frac{2,98}{5} = 0,60$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum(\mu - x)^2}{n}} = \sqrt{0,60} = 0,77$$

$$S_e = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0,77}{\sqrt{5}} = 0,35$$

Selanjutnya, dilakukan pencarian persentase *error* dari setiap populasi, perhitungan menggunakan rumus (5).



Gambar 10. Grafik Linearitas Antara Nilai Pengukuran Sensor Suhu dengan Nilai Alat Pembanding Suhu

Berdasarkan pengolahan data pada gambar 10 menggunakan metode statistik dan pencarian persentase *error*, maka tingkat presisi dari sensor BME-280 terhadap pengukuran suhu jika ditilik dari besar standar deviasinya, yakni 0,60 maka besar sebaran data tergolong sangat dekat dengan nilai 0 yang berarti hasil sensor sangat konsisten, hal ini menjadikan nilai presisi dari sensor BME-280 tergolong presisi. Namun, tingkat akurasi jika dilihat dari persentase *error*, maka sensor memiliki tingkat akurasi yang sangat baik. *Error* terbesar berada pada percobaan ke-3 tepatnya pada suhu 62 °C sebesar 2,30%, sedangkan *error* terkecil berada pada percobaan ke-5, pada suhu 74,2 °C,

dengan persentase *error* sebesar 0,17%.

3.2. Hasil dan Pembahasan Pengujian Sensor BME-280 (Tekanan)

Tabel 3. Data Sensor BME280 (Tekanan)

Sebelum mencari nilai deviasi, menentukan nilai minimum, maximum, dan average dari tiap populasi dengan menggunakan rumus dalam excel terlebih dahulu, data ditunjukkan pada tabel 3, yakni; fungsi MIN untuk mencari nilai terkecil/minimum, fungsi MAX untuk mencari nilai terbesar/maximum, dan

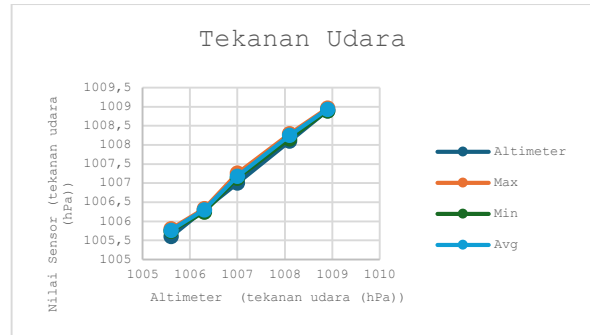
No	n		1	2	3	4	5
	Altimeter		1005.6	1006.3	1007	1008.1	1008.9
1.	Tekanan Udara (hPa)	Sensor	1005.74	1006.33	1007.21	1008.16	1008.92
2.			1005.75	1006.24	1007.26	1008.26	1008.95
3.			1005.76	1006.27	1007.20	1008.27	1008.96
4.			1005.80	1006.33	1007.14	1008.24	1008.91
5.			1005.78	1006.30	1007.19	1008.27	1008.94
6.			1005.77	1006.29	1007.16	1008.29	1008.92
7.			1005.76	1006.30	1007.20	1008.23	1008.93
8.			1005.79	1006.32	1007.16	1008.27	1008.94
9.			1005.76	1006.31	1007.15	1008.25	1008.95
10.			1005.74	1006.33	1007.13	1008.24	1008.89

fungsi AVERAGE untuk mencari rata-rata nilai dari tiap populasinya. Tabel 4. merupakan nilai minimum, maximum, dan average dari tiap populasi dari sensor BME-280 terhadap pengukuran tekanan udara.

Tabel 4. Nilai Minimum, Maximum, dan Average tiap Populasi Tekanan Udara

n	1	2	3	4	5
Tekanan udara (hPa)	1005.6	1006.3	1007	1008.1	1008.9
MIN	1005.74	1006.24	1007.13	1008.16	1008.89
MAX	1005.80	1006.33	1007.26	1008.29	1008.96
AVG	1005.77	1006.30	1007.18	1008.25	1008.93

Selanjutnya nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan besaran (Altimeter) atau hasil dari alat ukur pembanding, yang divisualisasikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 11.

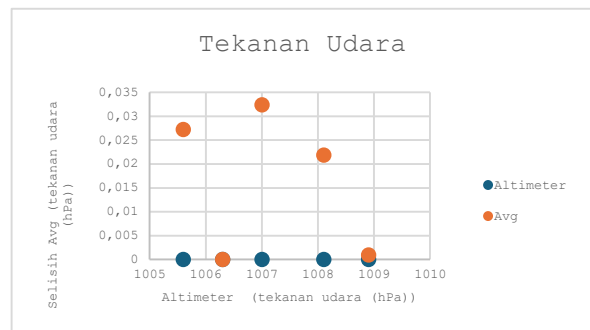


Gambar 11 . Grafik Perbandingan Nilai Minimum, Maximum, dan Average dari Tekanan Udara

Dari hasil grafik pada gambar 11, maka nilai yang diambil sebagai nilai x atau nilai pengukuran sensor, adalah nilai minimum dari tiap populasi. Hal ini dikarenakan nilai tersebut berada di bawah dari nilai besaran (nilai alat ukur pembanding). Selanjutnya mencari nilai deviasi menggunakan rumus (1), kemudian tiap hasil dari deviasi dikuadratkan dan ditotalkan yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai Deviasi dari Tiap Populasi Pengukuran Tekanan Udara

n	1	2	3	4	5
hPa	1005.6	1006.3	1007	1008.1	1008.9
σ	-0.16	-0.002	-0.18	-0.15	-0.031
$(\sigma)^2$	0.027	0.000004	0.032	0.022	0.001
Total =	0.08				

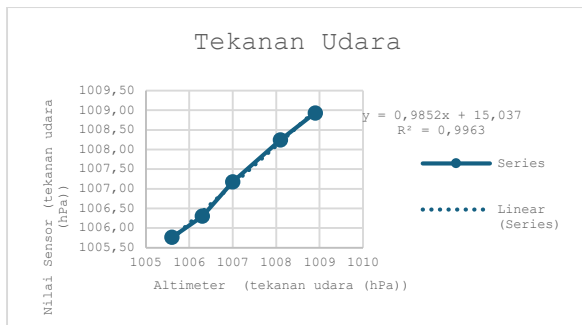


Gambar 12. Grafik Perbandingan Nilai Minimum, Maximum, dan Average dari Tekanan Udara

Berdasarkan data hasil pengujian sensor pada gambar 12, berikut ini adalah pengolahan data menggunakan metode statistik untuk menentukan karakteristik populasi sensor BME-280 dalam pengukuran tekanan.

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= \frac{\sum(\mu - x)^2}{n} = \frac{0,08}{5} = 0,02 \\ \sigma_d &= \sqrt{\frac{\sum(\mu - x)^2}{n}} = \sqrt{0,02} = 0,13 \\ S_e^g &= \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0,13}{\sqrt{5}} = 0,06\end{aligned}$$

Selanjutnya persentase *error* dari setiap populasi dihitung menggunakan rumus (5). Berikut ini adalah perhitungan hasil *error* tersebut.



Gambar 13. Grafik Linearitas Antara Nilai Pengukuran Sensor Tekanan Udara dengan Nilai Alat Pembanding Tekanan Udara

Berdasarkan pengolahan data menggunakan metode statistik dan perhitungan persentase *error*, sensor BME-280 menunjukkan tingkat presisi yang tinggi dalam pengukuran tekanan. Hal ini terlihat dari standar deviasi sebesar 0,13 yang menunjukkan bahwa sebaran data dekat dengan nilai 0, sehingga hasil pengukuran sensor dapat dianggap konsisten. Oleh karena itu, sensor BME-280 tergolong presisi. Untuk tingkat akurasi, berdasarkan persentase *error*, sensor menunjukkan akurasi yang baik. *Error* terbesar terjadi pada percobaan ke-3, yaitu pada tekanan 1007 hPa dengan persentase *error* sebesar 0,018%, sementara itu *error* terkecil ditemukan pada percobaan ke-2, yaitu pada tekanan 1006,3 hPa dengan persentase *error* sebesar 0,0002%.

3.3. Hasil dan Pembahasan Pengujian Sensor BME-280 (Ketinggian di atas Tanah)

Tabel 6. Data Sensor BME280 (Tekanan)

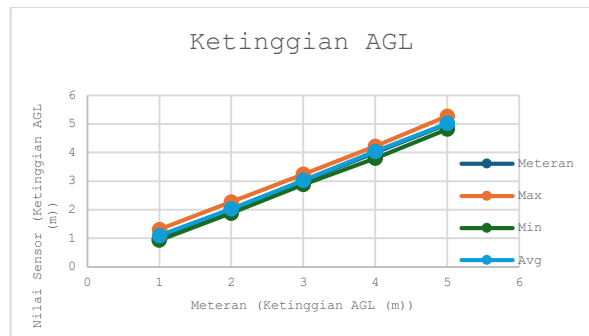
No.	n		1	2	3	4	5
	Meteran		1	2	3	4	5
1.	Ketinggian diatas Tanah (m)	Sensor	1.11	2.06	3.13	4.22	4.82
2.			0.96	1.95	3.22	4.01	5.15
3.			1.05	2.14	2.93	4.09	4.9
4.			0.93	2.03	3.06	4.18	5.27
5.			1.27	2.01	2.91	4.13	4.9
6.			1.31	1.97	2.95	3.91	5.27
7.			0.96	1.88	2.9	3.8	4.87
8.			0.98	1.99	2.88	3.98	4.99
9.			1.17	2.27	3.24	4.07	4.91
10.			1.21	1.98	3.05	4.01	5.1

Sebelum mencari nilai deviasi, menentukan nilai minimum, maximum, dan average dari tiap populasi dengan menggunakan rumus dalam excel terlebih dahulu, yakni; fungsi MIN untuk mencari nilai terkecil/minimum, fungsi MAX untuk mencari nilai terbesar/maximum, dan fungsi AVERAGE untuk mencari rata-rata nilai dari tiap populasinya. Tabel 6. merupakan nilai minimum, maximum, dan average dari tiap populasi dari sensor BME-280 terhadap pengukuran ketinggian di atas tanah.

Tabel 7. Nilai Minimum, Maximum, dan Average tiap Populasi Ketinggian diatas Tanah

n	1	2	3	4	5
Tekanan (hPa)	1	2	3	4	5
MIN	0.93	1.88	2.88	3.80	4.82
MAX	1.31	2.27	3.24	4.22	5.27
AVG	1.10	2.03	3.03	4.04	5.02

Selanjutnya nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan besaran (Meteran) atau nilai dari alat ukur pembanding dalam sebuah grafik terlihat pada gambar di bawah ini.

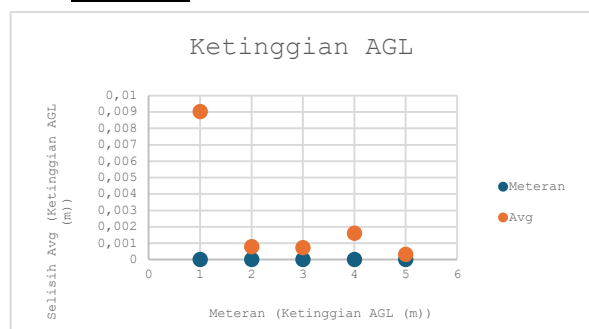


Gambar 14. Grafik Perbandingan Nilai Minimum, Maximum, dan Average dari Ketinggian diatas Tanah

Berdasarkan hasil grafik, nilai yang digunakan sebagai nilai x atau nilai pengukuran sensor adalah nilai rata-rata dari setiap populasi. Hal ini dikarenakan nilai rata-rata berada diantara nilai besaran (nilai alat ukur pembanding). Selanjutnya, nilai deviasi dihitung menggunakan rumus (1), kemudian setiap hasil deviasi dikuadratkan dan dijumlahkan. Tabel 8 menunjukkan nilai deviasi dari setiap populasi pengukuran ketinggian di atas permukaan tanah oleh sensor BME-280.

Tabel 8. Nilai Deviasi dari Tiap Populasi Pengukuran Ketinggian diatas Tanah

n	1	2	3	4	5
m	1	2	3	4	5
σ	-0.10	-0.028	-0.027	-0.04	-0.02
$(\sigma)^2$	0.01	0.0008	0.0007	0.002	0.0003
Total =	0.01				



Gambar 15. Grafik Perbandingan Antara Nilai Deviasi Terhadap Nilai Alat Pembanding Ketinggian diatas Tanah

Data dari hasil pengujian sensor dapat dilihat pada

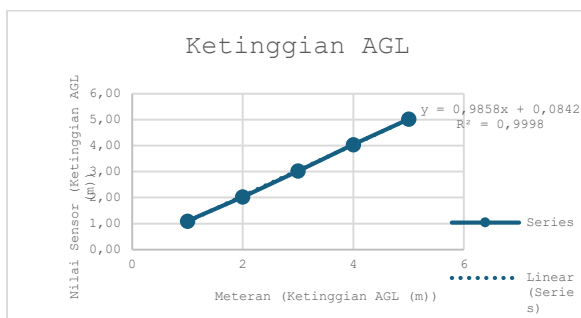
gambar 15, berikut ini adalah pengolahan data menggunakan metode statistik untuk menentukan karakteristik populasi sensor BME-280 dalam pengukuran ketinggian di atas permukaan tanah.

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\mu - x)^2}{n} = \frac{0,01}{5} = 0,002$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum(\mu - x)^2}{n}} = \sqrt{0,002} = 0,05$$

$$S_e^a = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0,05}{\sqrt{5}} = 0,02$$

Selanjutnya, persentase *error* untuk setiap populasi dihitung menggunakan rumus (5). Berikut ini adalah hasil perhitungan persentase error tersebut yang terlihat pada gambar 16. Grafik Literasi antara Nilai Pengukuran Sensor di atas Tanah dengan Nilai Alat Pemanding Ketinggian di atas Tanah.



Gambar 16. Grafik Linearitas antara Nilai Pengukuran Sensor di atas Tanah dengan Nilai Alat Pemanding Ketinggian di atas Tanah

Berdasarkan pengolahan data menggunakan metode statistik dan pencarian persentase *error*, maka tingkat presisi dari sensor BME-280 terhadap pengukuran ketinggian jika ditilik dari besar standar deviasinya, yakni 0,05 maka besar sebaran data tergolong sangat dekat dengan nilai 0 yang berarti hasil sensor sangat konsisten, hal ini menjadikan nilai presisi dari sensor BME-280 tergolong presisi. Namun, tingkat akurasi jika dilihat dari persentase *error*, maka sensor memiliki tingkat akurasi yang baik. *Error* terbesar berada pada percobaan ke-1 tepatnya pada ketinggian 1 m sebesar 9,50% , sedangkan error terkecil berada pada percobaan ke-5, pada ketinggian 5 m, dengan persentase *error* sebesar 0,36%.

3.4. Hasil dan Pembahasan Pengujian Sensor MPU-9250 (Orientasi Sudut)

Tabel 9. Data Pengujian Sensor MPU-9250 (Sudut XYZ)

X						
No.	n	1	2	3	4	5
	Busur	10	30	50	70	90
1	Orientasi Sudut (°)	Sensor	10.1	31.11	50.51	70.68
2			10.21	30.64	53.25	70.26
3			10.65	31.12	52.97	71.15
4			10.76	31.03	52.32	71.32

5			10.66	31.14	52.14	70.26	90
6			10.59	31.11	50.26	70.89	90
7			10.24	30.85	51.89	71.1	90
8			10.75	31.16	51.17	70.8	90
9			10.75	31.44	51.48	71.06	90
10			10.61	30.81	50.93	70.55	90
Y							
No.	n		1	2	3	4	5
	Orientasi Sudut (°)	Busur	10	30	50	70	90
Sensor		10.12	30.89	50.26	72.19	90	
		10.31	31.94	50.15	71.72	90	
		10.64	31.66	50.54	71.46	90	
		10.74	30.86	50.02	71.46	90	
		10.33	31.04	50.13	70.87	90	
		10.78	30.32	50.43	70.78	90	
		10.87	30.63	51.33	71.05	90	
		10.65	30.6	51.33	71.4	90	
		10.64	30.86	51.4	71.16	90	
		10.61	30.52	51.35	71.2	90	
Z							
No.	N		1	2	3	4	5
	Orientasi Sudut (°)	Busur	10	30	50	70	90
Sensor		10.02	30.05	50.77	70.26	90	
		10.98	30.43	50.73	70.54	90	
		11.12	30.36	50.57	70.53	90	
		10.63	30.36	50.81	71.22	90	
		10.78	30.45	50.33	70.5	90	
		10.57	30.16	50.72	70.59	90	
		10.82	30.22	50.61	70.82	90	
		10.47	30.77	50.2	70.51	90	
		10.62	30.39	50.34	70.84	90	
		10.36	30.35	50.36	70.89	90	

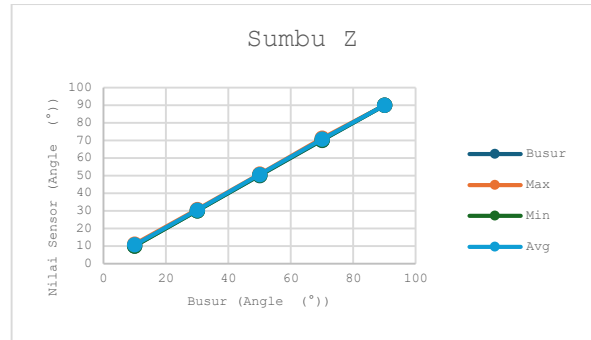
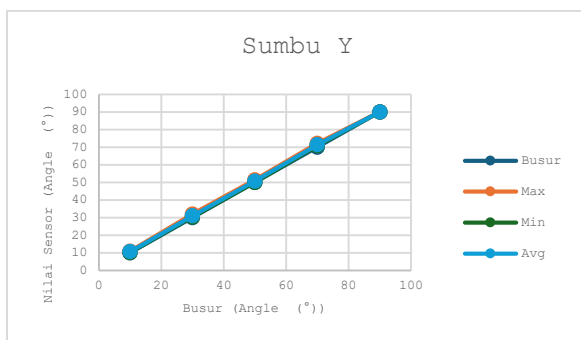
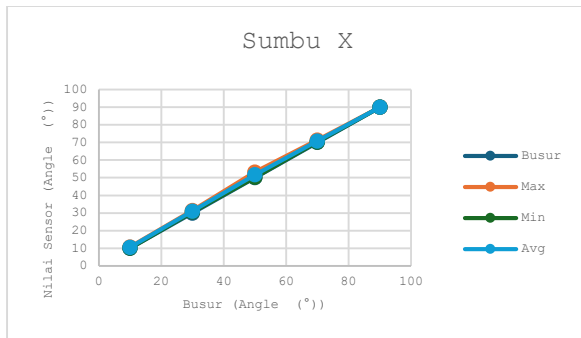
Sebelum mencari nilai deviasi, menentukan nilai minimum, maximum, dan average dari tiap populasi dengan menggunakan rumus dalam excel terlebih dahulu, yakni; fungsi MIN untuk mencari nilai terkecil/minimum, fungsi MAX untuk mencari nilai terbesar/maximum, dan fungsi AVERAGE untuk mencari rata-rata nilai dari tiap populasinya. Tabel 9. Merupakan nilai minimum, maximum, dan average dari tiap populasi dari sensor MPU-9250 terhadap pengukuran orientasi sudut XYZ.

Tabel 10. Nilai Minimum, Maximum, dan Average

tiap Populasi Sudut (Sudut XYZ)

X					
n	1	2	3	4	5
Sudut (°)	10	30	50	70	90
MIN	10.1	30.64	50.26	70.26	90
MAX	10.76	31.44	53.25	71.32	90
AVG	10.53	31.04	51.69	70.81	90
Y					
n	1	2	3	4	5
Sudut (°)	10	30	50	70	90
MIN	10.12	30.32	50.02	70.78	90
MAX	10.57	30.93	50.69	71.33	90
AVG	10.87	31.94	51.4	72.19	90
Z					
n	1	2	3	4	5
Sudut (°)	10	30	50	70	90
MIN	10.02	30.05	50.2	70.26	90
MAX	11.12	30.77	50.81	71.22	90
AVG	10.64	30.35	50.54	70.67	90

Selanjutnya nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan besaran (busur) atau nilai dari alat ukur pembanding dalam grafik sumbu XYZ.



Gambar 17. Grafik Perbandingan Nilai Minimum, Maximum, dan Average dari Sudut XYZ

Dari data hasil pengujian sensor pada gambar 17 dengan sumbu XYZ, maka berikut merupakan pengolahan data menggunakan metode statistik untuk mencari karakteristik populasi dari sensor MPU-9250 terhadap pengukuran orientasi sudut XYZ.

Perhitungan Sudut X:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\mu - x)^2}{n} = \frac{4,88}{5} = 0,98$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum(\mu - x)^2}{n}} = \sqrt{0,98} = 0,99$$

$$S_e^{\sigma} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0,99}{\sqrt{5}} = 0,44$$

Perhitungan Sudut Y:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\mu - x)^2}{n} = \frac{3,44}{5} = 0,69$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum(\mu - x)^2}{n}} = \sqrt{0,69} = 0,83$$

$$S_e^{\sigma} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0,83}{\sqrt{5}} = 0,37$$

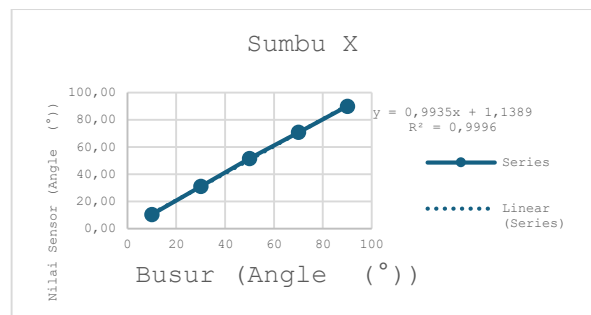
Perhitungan Sudut Z:

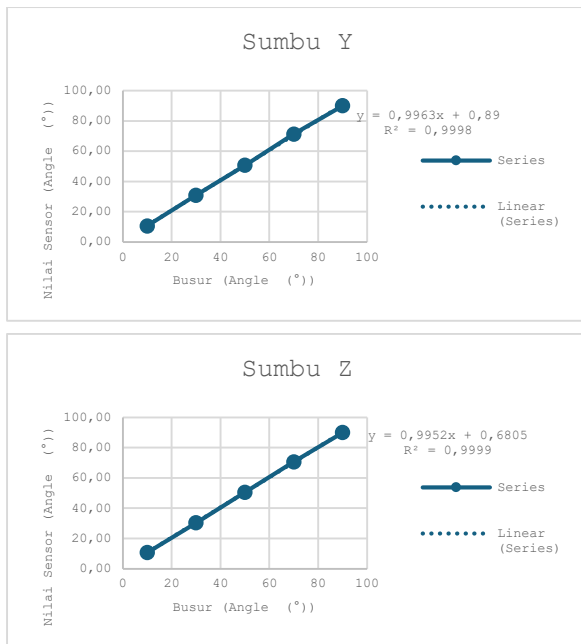
$$\sigma^2 = \frac{\sum(\mu - x)^2}{n} = \frac{1,28}{5} = 0,26$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum(\mu - x)^2}{n}} = \sqrt{0,26} = 0,51$$

$$S_e^{\sigma} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = \frac{0,51}{\sqrt{5}} = 0,23$$

Selanjutnya, dilakukan pencarian persentase *error* dari tiap populasi, perhitungan menggunakan rumus (5). Berikut merupakan hasil perhitungan *error*.





Gambar 17. Grafik Linearitas Antara Nilai Pengukuran Sensor Orientasi Sudut dengan Nilai Alat Pembanding Sudut XYZ

Berdasarkan pengolahan data menggunakan metode statistik dan pencarian persentase *error*, maka tingkat presisi dari sensor MPU-9250 terhadap pengukuran Sumbu X, Sumbu Y, dan Sumbu Z jika ditilik dari besar standar deviasinya, yakni 0,98 , 0,69 , dan 0,26 maka besar sebaran data tergolong sangat dekat dengan nilai 0 yang berarti hasil sensor konsisten, hal ini menjadikan nilai presisi dari sensor MPU-9250 tergolong presisi. Namun, tingkat akurasi jika dilihat dari persentase *error*, maka sensor memiliki tingkat akurasi yang baik. *Error* terbesar Sumbu X berada pada percobaan ke-1 tepatnya pada sudut 10° sebesar 5,32% , sedangkan *error* terkecil berada pada percobaan ke-5, pada sudut 90°, dengan persentase *error* sebesar 0,00%. Dan *error* terbesar Sumbu Y berada pada percobaan ke-1 tepatnya pada sudut 10° sebesar 5,69% , sedangkan *error* terkecil berada pada percobaan ke-5, pada sudut 90°, dengan persentase *error* sebesar 0,00%. Dan *error* terbesar Sumbu Z berada pada percobaan ke-1 tepatnya pada sudut 10° sebesar 6,37% , sedangkan *error* terkecil berada pada percobaan ke-5, pada sudut 90°, dengan persentase *error* sebesar 0,00%.

3.5. Hasil dan Pembahasan Pengujian Sistem Kontrol Heat Shield Parasut dan Kaki – Kaki

Tabel 11. Data Pengujian Sistem Kontrol

Data Pengujian Sistem Kontrol Heat Shield pada Pilot		
No	Status Pada XCTU	Status Pada Percobaan
1	Heat Shield is opened	Tidak Berhasil
2	Heat Shield is opened	Berhasil
3	Heat Shield is opened	Berhasil
4	Heat Shield is opened	Berhasil
5	Heat Shield is opened	Berhasil
Data Pengujian Sistem Kontrol Parasut pada Pilot		
No	Status Pada XCTU	Status Pada Percobaan
1	Paracute is opened	Tidak Berhasil

2	Paracute is opened	Berhasil
3	Paracute is opened	Berhasil
4	Paracute is opened	Berhasil
5	Paracute is opened	Berhasil
Data Pengujian Sistem Kontrol Kaki pada Pilot		
No	Status Pada XCTU	Status Pada Percobaan
1	Feet is opened	Berhasil
2	Feet is opened	Berhasil
3	Feet is opened	Berhasil
4	Feet is opened	Berhasil
5	Feet is opened	Berhasil
Data Pengujian Status Pendaratan pada Pilot		
No	Status Pada XCTU	Status Pada Percobaan
1	Landed Successfully	Tidak Berhasil
2	Landed Successfully	Berhasil
3	Landed Successfully	Berhasil
4	Landed Successfully	Berhasil
5	Landed Successfully	Berhasil

Pengujian ini dilakukan digedung Teaching Factory Polibatam dengan rentang ketinggian 0 m hingga 4 m di atas permukaan tanah yang dilakukan dari lantai Basement hingga ketinggian maksimal di lantai 1.

Langkah pengujiannya dimulai dari lantai Basement tepatnya pada ketinggian 0 m kemudian perangkat ditarik hingga mencapai ketinggian maksimal yaitu 4 m hingga 4,5 m. Setelah itu perangkat diulur kembali ke bawah untuk melakukan pendaratan. Saat melewati ketinggian 3 m hingga 2,5 m, servo kembali diaktifkan (*triggered*) untuk membuka *heat shield*. Selanjutnya perangkat diulur kembali, dan ketika melewati ketinggian 2 m hingga 1,5 m, servo kembali diaktifkan untuk membuka parasut. Pada tahap akhir, ketika melewati ketinggian 0,30 m hingga 0 m servo diaktifkan lagi untuk membuka kaki-kaki agar Pilot dapat berdiri tegak. Setelah pendaratan berhasil, status pada tampilan XCTU akan menunjukkan pesan” Landed Successfully” yang menandakan pendaratan berhasil dilakukan.

4. Kesimpulan

Sensor BME-280 menunjukkan tingkat akurasi dan presisi yang cukup baik dalam mengukur suhu, tekanan udara, dan ketinggian di atas tanah. Hal ini terlihat dari standar deviasi sebesar 0,77 untuk suhu, 0,13 untuk tekanan udara, dan 0,05 untuk ketinggian, yang menunjukkan bahwa sebaran data dekat dengan nilai 0, sehingga data yang dihasilkan termasuk konsisten. Selain itu, nilai standar *error* terhadap pengukuran suhu bernilai 0,35, terhadap tekanan udara adalah 0,06, dan terhadap ketinggian di atas tanah adalah 0,022. Sistem control menunjukkan tingkat keberhasilan 100 % pada software-nya, sedangkan pada hardware-nya memiliki tingkat keberhasilan sebesar 80%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol pembuka parasut dalam sistem CanSat memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi untuk membuka parasut. Namun, tingkat keberhasilan software masih sebatas pada keberhasilan menjalankan program if dengan kondisi ketika Pilot sudah mencapai ketinggian yang

Daftar Pustaka

- [1] Akyol, S., Yavuz, E. T., & Demirel, H. (2018). A low-cost CanSat design for educational purposes. *International Journal of Engineering Education*, 34(1), 257-267.
- [2] ohnson, L., & Smith, M. (2020). High-reliability data acquisition for CubeSat missions. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 57(3), 501-515.
- [3] Brown, K., & Davis, N. (2019). Comparative analysis of data acquisition architectures for embedded systems. *IEEE Embedded Systems Letters*, 11(2), 45-48.
- [4] Garcia, R., & Martinez, S. (2021). Advanced calibration methodologies for industrial sensors. *Sensors and Actuators A: Physical*, 320, 112540.
- [5] Lee, H., & Kim, J. (2022). A comprehensive review of sensor calibration techniques and their applications. *Measurement Science and Technology*, 33(5), 05RV01.
- [6] Dubois, P., & Lefevre, T. (2017). Accurate pressure sensor calibration for atmospheric measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(11), 4201-4215.
- [7] Chen, W., & Zhang, Y. (2019). High-precision temperature calibration using polynomial fitting. *Applied Thermal Engineering*, 160, 113975.
- [8] Williams, A. (2016). Towards standardization in CanSat project development. *Acta Astronautica*, 127, 330-338.
- [9] Taylor, Z., & Wilson, Q. (2023). Analysis and mitigation of error sources in sensor measurements for aerospace applications. *Aerospace Science and Technology*, 138, 108325.
- [10] Patel, V., & Sharma, R. (2024). Microcontroller-based data acquisition system for small-scale aerospace experiments. *Microprocessors and Microsystems*, 109, 105623.