

Analisis Kinerja Sensor Suhu dan Tekanan dengan Menggunakan Wahana Balon

Soni Aulia Rahayu¹, Ginaldi Ari Nugroho dan Edy Maryadi

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

¹soni.aulia@lapan.go.id; soni.aulia@yahoo.com...

ABSTRACT. *The Observation of the atmosphere can be done in various ways, one of them by using the balloon rides. This study aims to analyze the performance of temperature and pressure systems developed by LAPAN. Analysis is done by comparing the data generated by the system with reference data that is observation data generated from vaisala instrument by using RMSE, MBE, and correlation coefficient. RMSE values for temperature data are 11.01 and 13.22, while for MBE values of 7.43 and 10.24, these values show considerable differences between temperature data generated by systems developed with reference data. These results indicate the performance of the temperature system is less good, so it needs to do further research to know it. The RMSE and MBE values for pressure data are 1.21 and 0.41 on the balloon flight at 06:00 WIB, it indicates that the pressure data generated by the system is close to the reference data. The correlation coefficient obtained, the data produced by system, both the temperature and pressure is 0,9. This indicates that the resulting data system with reference data has a strong correlation.*

Keywords : *temperature, pressure, vertical profile, RMSE and MBE*

ABSTRAK. *Pengamatan atmosfer dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan menggunakan wahana balon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem suhu dan tekanan yang dikembangkan oleh LAPAN. Analisis dilakukan dengan membandingkan data yang dihasilkan oleh sistem tersebut dengan data acuan yaitu data observasi yang dihasilkan dari instrumen vaisala dengan menggunakan metode RMSE, MBE, dan koefisien korelasi. Nilai RMSE untuk data suhu adalah 11,01 dan 13,22, sedangkan untuk nilai MBE sebesar 7,43 dan 10,24, nilai tersebut memperlihatkan perbedaan yang cukup besar antara data suhu yang dihasilkan oleh sistem yang dikembangkan dengan data acuan. Hasil tersebut menunjukkan kinerja sistem suhu kurang baik, sehingga perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk mengetahui hal tersebut. Sedangkan nilai RMSE dan MBE untuk data tekanan masing-masing adalah sebesar 1,21 dan 0,41 pada penerbangan balon pukul 06:00 WIB, hal tersebut menunjukkan bahwa data tekanan yang dihasilkan sistem mendekati data acuan. Bila dilihat dari koefisien korelasi yang diperoleh oleh sistem, data yang dihasilkan baik data suhu maupun tekanan didapat koefisien korelasi sebesar 0,9. Hal ini mengindikasikan data yang dihasilkan sistem dengan data acuan memiliki korelasi yang kuat.*

Kata kunci : *suhu, tekanan, profil vertikal, RMSE dan MBE*

1. PENDAHULUAN

Kondisi atmosfer di wilayah Indonesia yang unik menjadi daya tarik bagi para peneliti untuk melakukan penelitian. Banyak hal unik yang dapat diteliti tentang kondisi atmosfer wilayah Indonesia. Wilayah Indonesia yang terletak pada garis ekuator (Biondy

dan Santosa, 2012), mempunyai iklim tropis yang dikelilingi oleh dua samudera yaitu samudera Hindia dan samudera Pasifik (Lasabuda, 2013). Oleh karena itu kondisi atmosfer Indonesia berbeda dengan wilayah lainnya di dunia (Sulistiyono, 2013).

Selain kondisinya yang unik, wilayah Indonesia juga sangat luas yang membentang dari Sabang sampai Merauke yang terdiri dari ribuan pulau-pulau (Fauzi dkk., 2012). Oleh karena itu dibutuhkan berbagai macam teknik untuk melakukan pemantauan kondisi atmosfer secara kontinyu. Pemantauan kondisi atmosfer dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah menggunakan satelit (Kakoyiannis and Constantinou, 2008), radar (Awaludin dkk., 2013) dan radiosonde (Hao dkk., 2016). Penelitian ini lebih difokuskan pada pengamatan menggunakan radiosonde.

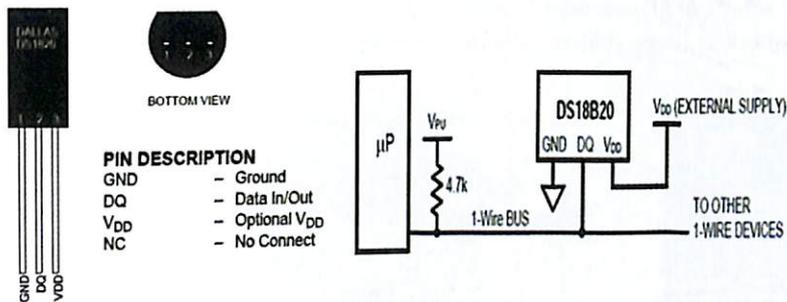
Radiosonde adalah instrumen yang memanfaatkan wahana balon membawa sensor-sensor atmosfer dengan informasi data yang ditransmisikan ke stasiun pengamat melalui transmitter radio (WMO, 2008). Sensor-sensor atmosfer yang dibawa diantaranya suhu (T), tekanan (P), kelembapan relatif (RH) dan angin horizontal (Ratnam dkk., 2014). Dari berbagai macam sensor yang dibawa oleh radiosonde maka sensor suhu dan tekanan yang akan dikaji lebih dalam pada penelitian ini.

Pengukuran suhu dan tekanan secara vertikal biasanya mengandalkan peralatan yang telah ada di pasaran seperti instrumen keluaran Vaisala. Peralatan keluaran Vaisala ini merupakan peralatan yang cukup mahal untuk penelitian yang dilakukan secara terus menerus. Oleh karena itu dalam penelitian dikembangkan sistem suhu dan tekanan yang dapat digunakan untuk pengukuran profil suhu serta tekanan secara vertikal menggantikan instrumen keluaran Vaisala. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja profil sistem suhu dan tekanan yang dikembangkan oleh LAPAN, serta melakukan perbandingan dengan data observasi dari Vaisala.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 26 Agustus 2016 di lapangan Lanud Pamengpeuk, Garut dengan titik koordinat 70°38'36,2" S dan 107°04'08"E. Penerbangan dengan menggunakan wahana balon dilakukan dua kali yaitu pada pukul 6:00 pagi WIB dan pukul 09:00 WIB pada lokasi yang sama. Masing-masing membawa sistem yang dikembangkan oleh LAPAN dan instrumen Vaisala.

Sistem yang dikembangkan oleh LAPAN adalah sistem suhu dan tekanan. Sensor suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor DS 1820. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mengukur suhu dengan rentang -55°C sampai 125°C dan mempunyai keakuratan sebesar $\pm 0,5^\circ\text{C}$ pada suhu sekitar -10°C sampai 85°C. Selain itu, daya yang digunakan sensor suhu ini bisa langsung didapat dari data line, sehingga tidak perlu lagi listrik eksternal (Dallas, 2017). Sensor suhu ini terdiri dari 3 pin (kaki) yang terdiri dari *Ground* (GND), data input atau output (DQ) dan opsional VDD (VDD). Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sensor DS 1820 (kiri) dan layout sensor (kanan) (Dallas, 2017)

Sedangkan sensor tekanan menggunakan sensor MPL3115A2. Sensor tekanan *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS) yang menyediakan data per level ketinggian. Output sensor berupa digital dengan resolusi tinggi 24-bit ADC dan dikirimkan melalui I2C. Output tekanan dapat dihasilkan dalam sepersekian pascal, dan ketinggian dapat dihasilkan dalam sepersekian meter. Perangkat ini juga menyediakan pengukuran suhu 12-bit dalam derajat Celcius (NXP Semiconductor, 2017). Sensor MPL3115A2 dapat dilihat pada Gambar 2.



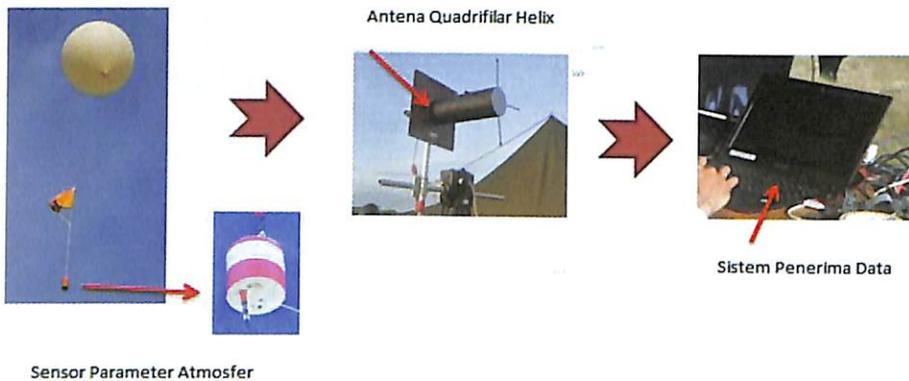
Gambar 2. Sensor Tekanan (MPL3115A2, 2017)

Setelah melakukan pemilihan sensor yang akan digunakan, selanjutnya semua sensor dirangkai pada arduino. Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang bersifat open-source hardware yang didasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan.

Bahasa pemrograman arduino adalah bahasa pemrograman yang umum digunakan untuk membuat perangkat lunak yang disusun pada arduino board. Bahasa pemrograman arduino mirip dengan bahasa pemrograman C++. *Arduino Development Environment* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat dan menyusun program arduino. *Arduino Development Environment* juga digunakan untuk mengunggah program yang sudah disusun ke memori program arduino board (Arduino, 2017).

Pada Gambar 3 menjelaskan prinsip kerja penerimaan data parameter atmosfer. Sistem yang telah digabungkan kemudian dimasukkan ke dalam rangka yang telah disediakan, dinamakan payload. Selanjutnya payload diletakkan di bawah wahana balon yang akan membawanya terbang. Pada ground station dipersiapkan antena penerima,

antena yang digunakan adalah antena quadrifilar helix. Data akan diteruskan ke sistem penerima yang dapat dilihat pada monitor seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Prinsip kerja penerimaan data parameter atmosfer oleh balon

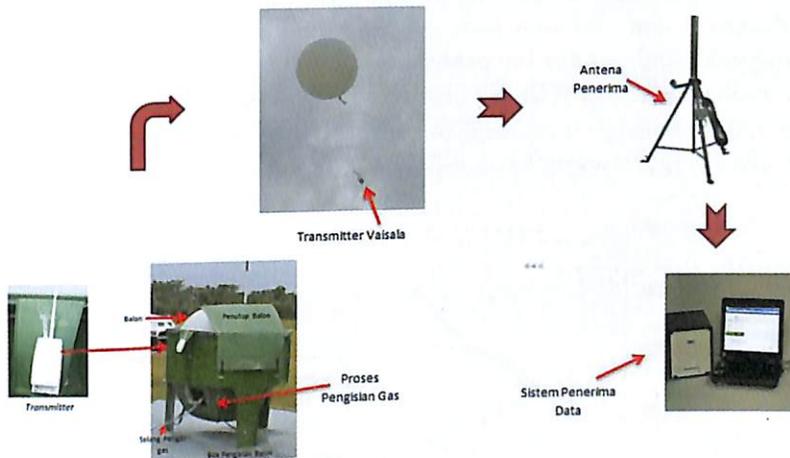
Selain sistem yang dikembangkan oleh LAPAN, pada penelitian ini juga diterbangkan instrumen radiosonde Vaisala dengan seri DigiCORA MW41 *Sounding System*. Instrumen Vaisala ini merupakan radiosonde keluaran terbaru yang dirakit di Helsinki, Finlandia. Sistem ini digunakan untuk menerima hasil pengukuran dari radiosonde, kemudian menghitung, mentransfer dan mengarsipkan data sesuai kebutuhan (Vaisala, 2016). Sistem ini banyak digunakan untuk pemantauan karakteristik atmosfer bagian atas. Adapun spesifikasi dari instrumen Vaisala ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Vaisala DigiCORA MW41 [Vaisala, 2016]

Operating Bandwidth	400.15...405.99 MHz
Channel Spacing	100 KHz (for simultaneous transmits)
Transmitter Type	Crystal stabilized
Frequency stability, 90% probability	± 2 KHz
Modulation	GFSK
Deviation, peak to peak	4.8 Hz
Baud rate	4800 bit/s
Transmitting cycle	1/s burst
Emission bandwidth	According to ETSI standard EN 302 054
Error detection and correction	CRC error detection, Reed-Solomon error correction
Current consumption	40 mA typical
Output power	60 mW minimum
Sounding system requirement	MW41
Compatible with the ETSI standard for radiosondes	ETSI EN 302 051

Pada penelitian ini frekuensi tengah yang digunakan adalah 433 MHz dengan antena omnidirectional. Kemudian dilanjutkan dengan sistem penerima data seperti yang

terlihat pada layar monitor pada Gambar 4.



Gambar 4. Prinsip kerja penerimaan data parameter atmosfer dengan menggunakan Vaisala

Uji kinerja sistem yang dikembangkan adalah dengan membandingkan sistem tersebut dengan keluaran instrumen Vaisala. Metode yang digunakan adalah metode *Root Mean Square Error* (RMSE) serta *Mean Bias Error* (MBE). RMSE menunjukkan nilai standar deviasi dari perbedaan sampel data yang diprediksi dengan data observasi (Risyanto dkk., 2014). RMSE digunakan sebagai ukuran statistika standar dalam menguji kinerja model dalam studi meteorologi, kualitas udara dan penelitian klimatologi (Chai and Draxter, 2014).

MBE menggambarkan arah kesalahan bias dari data yang sedang dievaluasi. MBE bisa bernilai negatif dan positif (Falayi and Rabi, 2011). Cara menentukan RMSE dan MBE seperti formula di bawah ini (Risyanto, 2014; Willmott and Matsuura, 2005) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad (1)$$

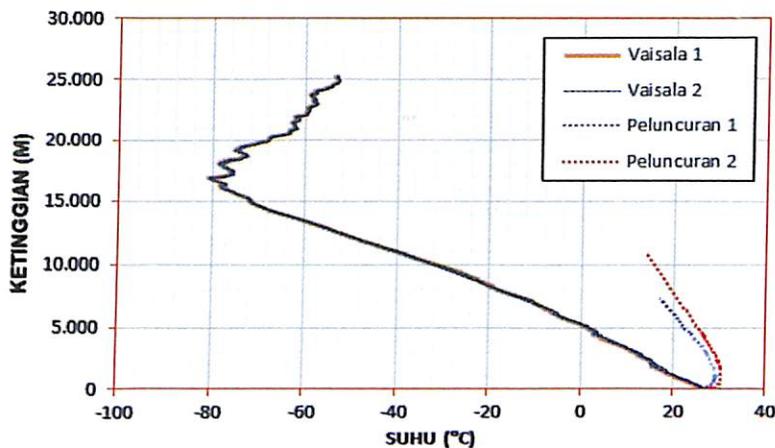
$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t) \quad (2)$$

Dengan :

- \hat{y}_t : Data prediksi
- y_t : Data obaservasi ke -t
- n : Jumlah data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini payload diterbangkan dengan menggunakan wahana balon. Penerbangan balon dilakukan pada tanggal 25 Agustus 2016 yang berlokasi di Lanud Pamengpeuk. Terdapat dua kali penerbangan balon, pertama pada pukul 06:00 WIB dan kedua pada pukul 09:00 WIB. Penerbangan balon tersebut mengukur suhu dan tekanan secara vertikal sehingga menghasilkan grafik profil suhu dan tekanan. Grafik profil suhu untuk dua kali penerbangan balon dapat dilihat pada Gambar 5.



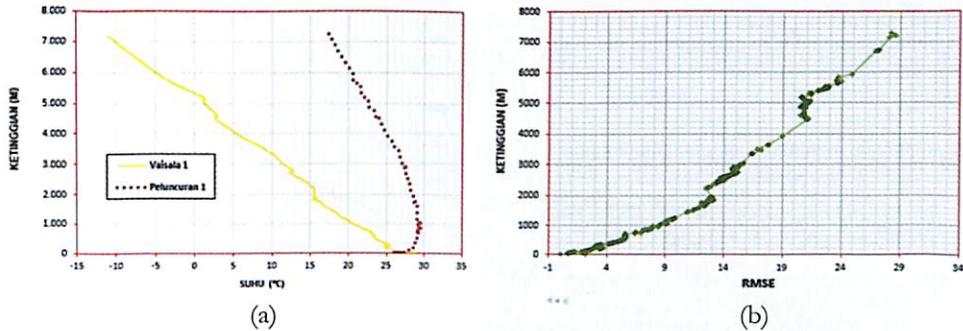
Gambar 5. Grafik perbandingan profil suhu yang terukur (2x peluncuran) menggunakan dua wahana berbeda.

Gambar 5 memperlihatkan grafik profil suhu yang dihasilkan oleh instrumen Vaisala dapat mendeteksi sampai ketinggian 25 km yang disimbolkan oleh garis warna oranye untuk penerbangan pertama dan berwarna biru untuk penerbangan kedua. Sedangkan untuk sistem suhu yang dikembangkan diberi simbol dengan peluncuran 1 dan 2, untuk peluncuran 1 mencapai ketinggian 8 km (warna ungu) dan 10 km untuk peluncuran 2 (warna merah). Terlihat bahwa semakin bertambahnya ketinggian maka suhu akan semakin turun sampai pada lapisan tropopause. Lapisan tropopause merupakan pembatas antara lapisan troposfer dengan stratosfer, rata-rata terletak pada ketinggian tekanan 100 mb (sekitar 16 km) untuk wilayah tropis (Stephens, 1994).

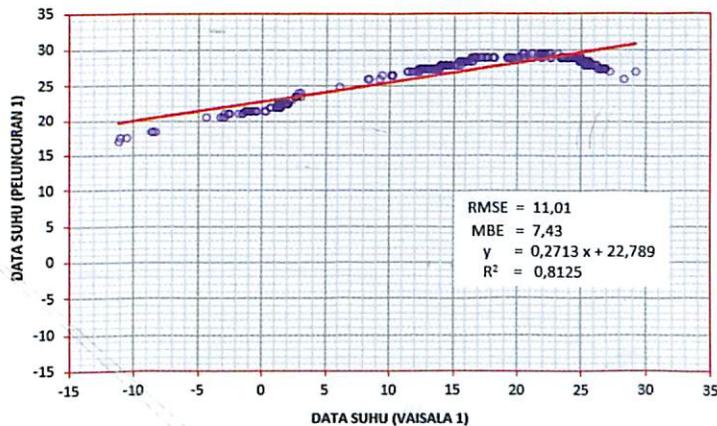
Perbedaan ketinggian yang diperoleh oleh sistem penerima disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah hilangnya koneksi antara transmitter dan receiver pada sensor yang dikembangkan. Hal tersebut menyebabkan data suhu yang diterima tidak maksimal dan tidak setinggi data yang diterima oleh Vaisala.

Berdasarkan Gambar 6 pada penerbangan balon pertama, terlihat pola data yang diterima oleh instrumen Vaisala 1 dan peluncuran 1 mempunyai pola yang sama. Untuk mengukur datanya maka dihitung nilai RMSE per level ketinggian seperti pada Gambar 6b. Nilai RMSE dihitung menggunakan persamaan 1. Data yang digunakan berdasarkan data pada gambar profil suhu pada penerbangan balon yang pertama seperti pada Gambar 6a. Grafik RMSE menunjukkan perbedaan (*error*) terbesar dari peluncuran 1 terhadap

Vaisala 1 pada ketinggian 7000 m dengan nilai RMSE sebesar 28,1. Semakin bertambah ketinggian, maka semakin besar nilai RMSE. Hal ini menunjukkan terjadi *error* yang besar saat bertambah ketinggian (Shcherbakov dkk., 2013; Armstrong and Collopy, 1992).



Gambar 6. Grafik profil suhu pada penerbangan pertama (a) dan nilai RMSE antara suhu dari peluncuran 1 dan vaisala 1 (b)

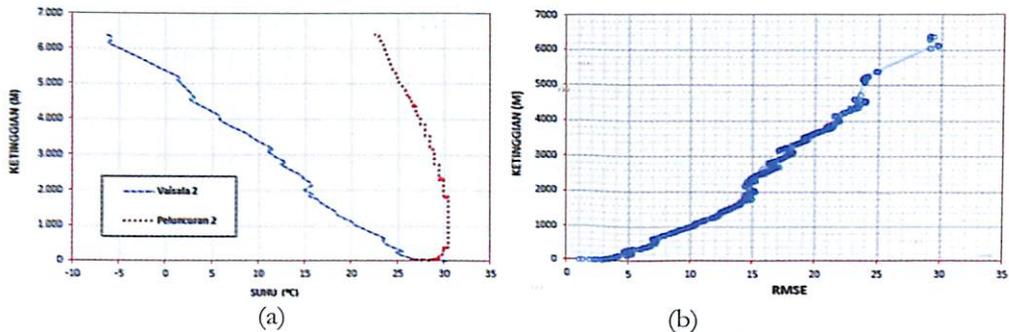


Gambar 7. Scatter plot suhu antara peluncuran 1 dan vaisala 1

Gambar 7 merupakan *scatter plot* suhu antara peluncuran 1 dengan vaisala 1, yang menunjukkan nilai RMSE total sebesar 11,01. RMSE ini mencerminkan nilai standar deviasi dari perbedaan data peluncuran 1 dengan Vaisala 1. Semakin besar nilai RMSE yang diperoleh maka perbedaan nilai antara data yang dihasilkan oleh peluncuran 1 dan Vaisala 1 juga semakin besar. Nilai MBE setelah dihitung dengan persamaan 2 diperoleh sebesar 7,43. Nilai MBE ini merupakan nilai yang mengindikasikan bias dari dua data hasil pengamatan. Jika MBE bernilai negatif artinya nilai prediksi lebih kecil daripada nilai observasi, sebaliknya bernilai positif menggambarkan nilai prediksi lebih besar dari pada nilai observasi. Nilai MBE yang diperoleh bernilai positif maka nilai peluncuran 1 lebih besar daripada nilai yang diterima oleh instrumen Vaisala 1.

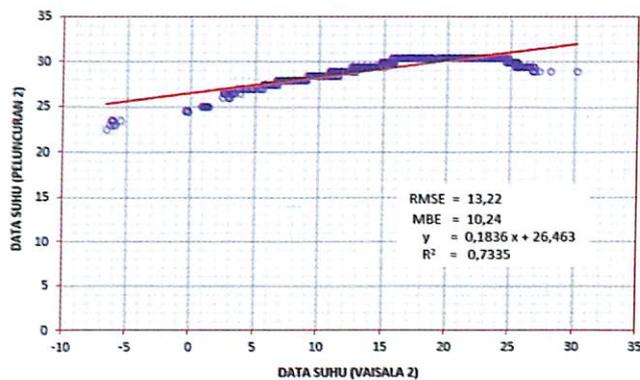
Kefisien korelasi antara dua data tersebut sebesar 0,9. Koefisien korelasi dengan nilai 0,9 merupakan nilai korelasi yang kuat. Ditunjukkan hubungan data suhu peluncuran

1 dan Vaisala 1 sangat kuat, walaupun nilai RMSE sebesar 11,01. Hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan korelasi yang besar, nilai RMSE belum tentu akan menjadi kecil.



Gambar 8. Grafik profil suhu pada penerbangan kedua (a) dan nilai RMSE antara suhu dari peluncuran 2 dan vaisala 2 (b)

Setelah penerbangan pertama selesai maka dilanjutkan dengan penerbangan balon kedua dengan diberi simbol Vaisala 2 dan peluncuran 2, hasil yang diperoleh seperti pada Gambar 8 (a). Nilai RMSE dihitung berdasarkan masing-masing ketinggian yang terlihat pada Gambar 8 (b). Semakin tinggi peluncuran maka nilai RMSE semakin besar yang berarti perbedaan data semakin besar dengan bertambahnya ketinggian.

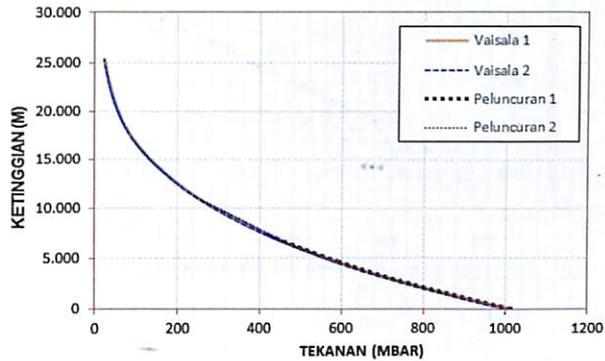


Gambar 9. Grafik scatter plot suhu antara peluncuran 2 dan vaisala 2

Scatter plot suhu hasil peluncuran 2 dan vaisala 2 dapat dilihat pada Gambar 9. Koefisien korelasi sebesar 0,8 dengan nilai RMSE 13,22 dan perbedaan nilai MBE sebesar 10,24. Nilai RMSE dan MBE untuk penerbangan kedua lebih besar daripada penerbangan pertama.

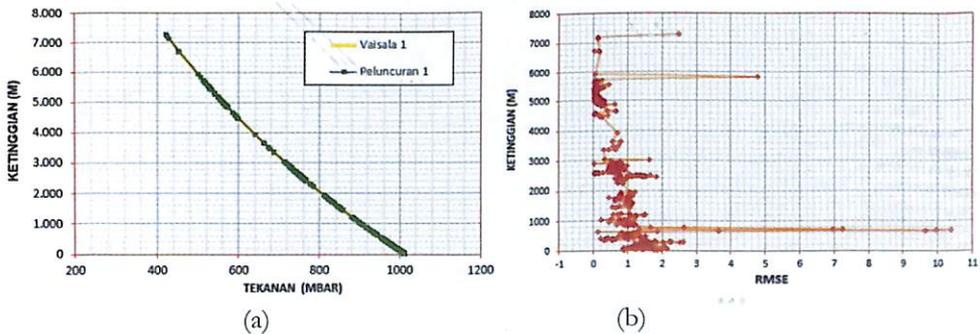
Setelah menganalisis sistem suhu dan data yang dihasilkan untuk dua kali penerbangan balon, maka disimpulkan sistem penerima belum maksimal dibandingkan dengan sensor suhu Vaisala. Nilai RMSE yang diperoleh cukup besar yaitu 11,01 dan 13,22

yang artinya data yang diperoleh masih terdapat perbedaan yang cukup besar dengan data referensi. Hal ini disebabkan oleh banyak hal, salah satunya adalah casing yang digunakan oleh sistem yang sedang dikembangkan. Bahan untuk casing payload harus diperhatikan sehingga data yang terekam merupakan data suhu yang sesuai dengan suhu lingkungan untuk level ketinggian tertentu. Selain itu casing yang digunakan harus tahan terhadap suhu minus karena suhu pada ketinggian di atas ± 5000 m bernilai di bawah 0°C .



Gambar 10. Grafik profil tekanan yang terukur dengan dua alat berbeda.

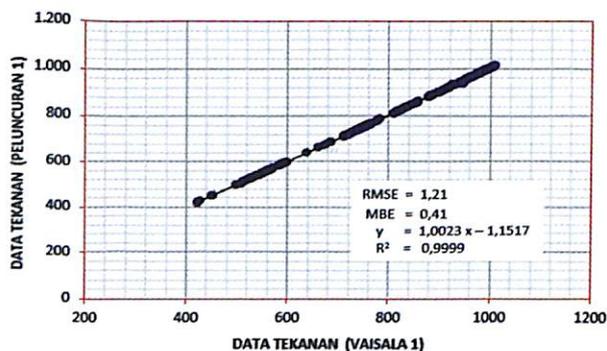
Selain pengukuran suhu, juga dilakukan pengukuran tekanan secara vertikal. Gambar 10 menunjukkan hasil penerbangan balon untuk pengukuran tekanan. Penerbangan dilakukan sebanyak dua kali sama dengan pengukuran suhu sebelumnya. Pada Gambar 11(a) memperlihatkan hasil pengukuran Vaisala yang mencapai ketinggian 25 km dan hasil peluncuran 1 dan 2 masing-masing sampai 7 km dan 10 km. Terlihat bahwa pola grafik profil tekanan antara 2 alat berbeda mempunyai pola yang sama dan berhimpitan.



Gambar 11. Grafik Profil tekanan pada penerbangan pertama (a) dan nilai RMSE antara tekanan dari peluncuran 1 dan vaisala 1 (b)

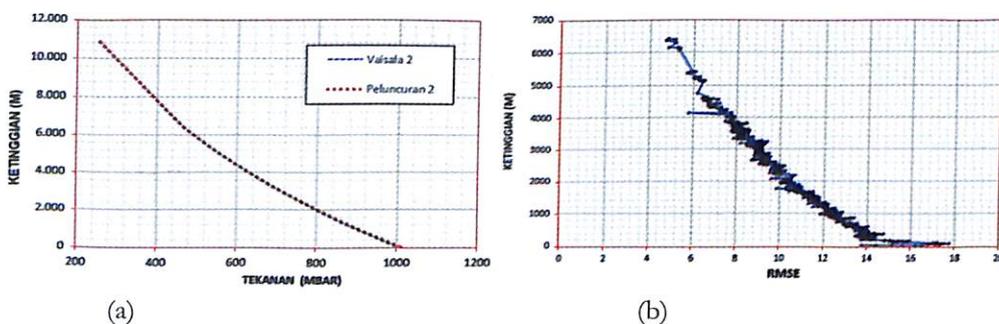
Masing-masing tekanan dan suhu akan dianalisis berdasarkan penerbangan balonnya. Pada gambar 11(a) terlihat profil tekanan yang terukur untuk dua alat berbeda,

sedangkan 11(b) merupakan nilai RMSE terukur berdasarkan ketinggian. Nilai RMSE terukur tampak stabil mendekati satu sebagaimana nilai yang seharusnya. Hal ini menggambarkan bahwa nilai peluncuran 1 dan vaisala 1 mempunyai perbedaan yang tidak begitu besar. Sehingga bisa dikatakan telah mendekati nilai sesungguhnya.



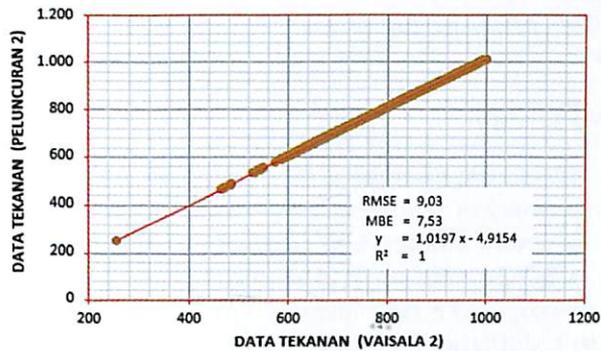
Gambar 12. Grafik Scatter plot tekanan antara peluncuran 1 dan vaisala 1

Scatter plot tekanan pada gambar 12 menunjukkan nilai RMSE yang diperoleh 1,21 yang artinya nilai tekanan yang diperoleh peluncuran 1 mendekati nilai sesungguhnya yang dapat diterima oleh vaisala 1. MBE bernilai 0,41 menyatakan nilai yang diperoleh oleh peluncuran 1 mempunyai data lebih besar sekitar 0,41 daripada data yang diterima oleh vaisala 1. Nilai korelasi yang besar sekitar 0,9, hasil seperti inilah yang diharapkan, sehingga data peluncuran bisa disebut valid datanya.



Gambar 13. Grafik Profil tekanan pada penerbangan kedua (a) dan nilai RMSE antara tekanan dari peluncuran 2 dan vaisala 2 (b)

Penerbangan balon yang kedua diperoleh data tekanan seperti gambar 13(a) dan setelah dihitung diperoleh nilai RMSE per level ketinggian seperti gambar 13(b). Grafik nilai RMSE yang diperoleh berbeda dari grafik RMSE suhu sebelumnya. Nilai RMSE dari data tekanan menggambarkan semakin tinggi ketinggian yang dicapai maka data tekanan yang diperoleh semakin mendekati nilai yang dihasilkan oleh Vaisala 2 atau tekanan sesungguhnya.



Gambar 14. Grafik Scatter plot tekanan antara peluncuran 2 dan Vaisala 2

Lebih jelasnya dapat dilihat pada scatter plot Gambar 14 dengan nilai korelasi 1. Akan tetapi nilai RMSE yang diperoleh cukup besar yaitu sebesar 9,03 dan nilai MBE yang juga lebih besar daripada penerbangan balon yang pertama yaitu sebesar 7,53. Nilai korelasi besar tidak menggambarkan nilai RMSE dan MBE kecil.

Sensor suhu yang pada penerbangan pertama pukul 06:00 WIB menghasilkan data yang mendekati nilai sebenarnya yang ditandai dengan nilai RMSE sekitar 1,21. Dari data ini juga dapat dilihat nilai variannya juga kecil yaitu 1,4. Varian merupakan penyimpangan data yang diukur dari data aslinya (Varian, 1992). Hal ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya tentang seberapa besar pengaruh waktu penerbangan balon.



Gambar 15. Grafik tracking masing-masing balon dari titik awal sampai akhir

Gambar 15 memperlihatkan tracking balon dengan titik awal peluncuran yang sama, pergerakan balon mengikuti arah angin. Dengan titik awal yang sama pada saat peluncurannya, akan tetapi pergerakan balon mengikuti arah angin. Terlihat bahwa peluncuran 1 dan 2 hanya sebentar dibandingkan dengan data vaisala 1 dan 2. Sensor-sensor pada peluncuran 1 dan 2 ini memiliki kinerja yang sudah bagus akan tetapi harus

diperhatikan lagi casing atau pembungkus dari sistem sensor tersebut, sehingga data yang diterima akan lebih bagus dan maksimal.

4. KESIMPULAN

Sistem sensor yang dikembangkan dimasukkan kedalam casing yang dinamakan payload dan diterbangkan menggunakan wahana balon. Sistem ini dianalisa dengan menggunakan data dari sensor yang dikeluarkan oleh vaisala dengan menggunakan metode RMSE, MSE, dan koefisien korelasi. Sistem suhu dan tekanan yang dikembangkan mempunyai pola yang sama dengan instrumen dari vaisala. Akan tetapi untuk sensor suhu mempunyai nilai RMSE yaitu 11,01 dan 13,22 dan nilai MBE sebesar 7,43 dan 10,24, dari nilai tersebut terlihat cukup besar sehingga perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk mengetahui penyebab besarnya nilai RMSE dan MBE. Sedangkan untuk sistem tekanan nilai RMSE sebesar 1,21 dan MBE sebesar 0,41 pada penerbangan balon pukul 06:00 WIB mempunyai nilai yang kecil sehingga data yang diperoleh bisa menggambarkan nilai sesungguhnya mendekati data dari yang diterima instrumen vaisala. Koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,9 untuk semua penerbangan balon. Sistem suhu yang dikembangkan oleh lapan masih harus disempurnakan lagi supaya data yang diperoleh lebih akurat. Sedangkan sistem tekanan, data yang diperoleh sudah lebih baik berdasarkan hasil yang diperoleh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan di Bidang Program dan Fasilitas, Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN atas bantuan dan dukungan dalam proses pengamatan.

DAFTAR RUJUKAN

- Arduino, tersedia di). <http://playground.arduino.cc/Main/DevelopmentTools>, di akses pada tanggal 9 Januari 2017.
- Armstrong, J.S. and F. Collopy (1992). Error measures for generalizing about forecasting methods). Empirical comparisons. *International Journal of Forecasting*, Volume 8, Issue 1, June 1992, pages 69-80
- Awaludin, A., G. A. Nugroho, dan S. A. Rahayu (2013). Analisis Kemampuan Radar Navigasi Laut FURUNO 1932 MARK-2 Untuk Pemantauan Intensitas Hujan., *Jurnal Sains Dirgantara.*, Vol.10 No 2., Hal 90 – 103.
- Biondy, Y dan I. Santosa (2012). Museum Antariksa Indonesia, *Jurnal Tingkat Sarjana bidang Senirupa dan Desain*.
- Chai, T., and R.R. Draxler, (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev.*, 7, 1247–1250
- Dallas DS1820, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58548/DALLAS/DS1820.html> diakses pada tanggal 9 Januari 2017.
- Falayi, E. O., and A.B. Rabi, (2011). Estimation of global solar radiation using cloud cover and surface temperature in some selected cities in Nigeria, *Archives of Physics Research* (2011), 2

- (3):99-109, ISSN). 0976-0970
- Fauzi, A., D. Darnaedi., L.B Prasetyo., B. Gunawan., Driejana., I. M. Kamil., H. D. Ariesyadi., H. Yulinawati., A. Herwana., D. Gardera., E. Hamonangan., D. Ratmaningsih., Jetro., E. Nazir., E. Rachmawaty., D. Aprianti, dan N. T. Wardhani. (2012). Status Lingkungan Hidup Indonesia 2012, Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, ISBN 978-602-8358-67-5
- Hao, X; L. Guo; L. Lin; Q. Li, and Y. Zhang (2016). The Statistic and Analysis of atmospheric ducts worldwide using radiosonde data, *Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE)*, 11th International Symposium, ISBN). 978-1-5090-4743-7
- Kakoyiannis, C. G, and P. Constantinou (2008). A Compact Microstrip Antenna with Tapered Peripheral Slits for CubeSat RF Payloads at 436MHz). *Miniaturization techniques, design & numerical results, Satellite and Space Communications IWSSC. IEEE International Workshop, Electronic* ISBN 978-1-4244-1948-7
- Lasabuda. R, (2013). Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Lautan Dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia, *Jurnal Ilmiah Platax Vol. I-2, Januari* ISSN). 2302-3589
- NXP Semiconductor, tersedia di). <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/data-sheets/MPL3115A2.pdf>, di akses pada tanggal 9 Januari 2017.
- MPL3115A2, tersedia di). <https://www.sparkfun.com/products/11084>, di akses pada tanggal 9 Januari 2017.
- Ratnam.M. V., N. Pravallika., S. R. Babu., G. Basha., M. Pramitha, and B. V. K. Murthy (2014). Assessment of GPS radiosonde descent data, *Atmospheric Measurement. Technique.*, 7, 1011-1025., doi:10.5194/amt-7-1011-201.
- Risyanto, S. B. Sipayung, dan E. Maryadi (2014). Analisis Profil Suhu Vertikal Atmosfer dari Data MODIS Terra/Aqua di Wilayah Indonesia. *Prosiding Seminar Sains Atmosfer 2014, LAPAN Bandung*.
- Shcherbakov ,M. V; A. Brebels; N. L Shcherbakova; A. P Tyukov; T. A Janovsky, and V. A Kamaev(2013).A Survey of Forecast Error Measures, *World Applied Sciences Journal* 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society). 171-176, ISSN 1818-4952
- Stephens, G. L. (1994). *Remote Sensing of the Lower Atmosphere*. New York). Oxford University Press, Inc.
- Sulistiyono. S. T. (2013). Konsep Batas Wilayah Negara Di Nusantara, *Artikel Online Universitas Diponegoro*, http://eprints.undip.ac.id/3258/2/13_artikel_pak_Singgih.pdf. di akses pada tanggal 21 Juni 2017
- Vaisala, www.vaisala.com/requestinfo, di akses pada tanggal 9 Januari 2017.
- Varian, H. R (1992). *Microeconomic analysis Third Edition*, W. W. Norton & Company, Inc. ISBN 0-393-95735-7
- Willmott, C. and Matsuura (2005). Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in assessing average model kinerjance, *Clim. Res.*, 30, 79–82.
- WMO (World Meteorological Organization) (2008). *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. Seventh edition. WMO-No 8.