

Perbandingan sensor untuk *Fault Detection* dan *Replacement* Sensor Temperatur Pada Penyimpanan Sementara Tepung Gandum

Imran Habriansyah

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*imranhabriansyah@poliupg.ac.id

Abstract: *This study aims to discuss the diagnosis of error reading temperature sensor readings for wheat storage, using structural analysis methods. Structural data-based analysis is used to analyze the condition of the system. A comparison of the performance and reading speed of the sensor is also discussed. The method used in this research is redundancy analysis and comparison of data from sensor systems. reading the main sensor compared to the data that has been stored on the system. When the data from the sensor has an assessment with the data that is in the system, then the sensor is considered normal. However, if the data does not match, the sensor data backup will be the next comparison. If the data is declared to have no rating, then the sensor is considered to have failed. From several experiments produced a comparison of the response speed of changes in the temperature sensor. The speed of reading temperature changes from the texas instrument sensor (LM35) is better than the sensor from the integrated maxim (DS18B20). However, the accuracy is the opposite. For detecting speed error and changing sensors, the device from Texas Instruments is better than Maxim Integrated. For the reading speed, the DS18B20 sensor is more sensitive to dust / parasites with a speed of 87.8 ms, while the LM35 sensor is better at 77.5 ms. For the condition of changing the sensor to a backup sensor, the use of the LM35 and DS18B20 sensors has the same speed, the fastest time for these two sensors is 14.1 ms.*

Keywords: *analysis redundancy, error sensor reading, speed reading, temperature response speed change*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan membahas tentang diagnosis kesalahan pembacaan sensor temperatur tempat penyimpanan gandum, menggunakan metode teknik analisis struktural. Analisis struktural berbasis data digunakan untuk menganalisis kondisi dari sistem. Perbandingan kinerja dan kecepatan pembacaan dari sensor juga dibahas. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu analisis redudansi dan perbandingan data dari sistem sensor. Data pembacaan sensor utama dibandingkan dengan data yang telah disimpan pada sistem. Ketika data dari sensor memiliki kemiripan dengan data yang berada pada sistem, maka sensor dianggap normal. Akan tetapi jika data tersebut tidak sesuai, data sensor backup akan menjadi pembandingan selanjutnya. Apabila data dinyatakan tidak memiliki kemiripan, maka sensor dianggap gagal. Dari beberapa percobaan dihasilkan perbandingan kecepatan respon perubahan temperatur dari sensor. Kecepatan pembacaan perubahan temperatur dari sensor texas instruments (LM35) lebih baik dibandingkan sensor dari maxim integrated (DS18B20). Akan tetapi akurasi berbanding terbalik. Untuk kecepatan pendeteksian kesalahan dan penggantian sensor, piranti dari texas instruments lebih baik dari maxim integrated. Untuk kecepatan pembacaan kegagalan sensor DS18B20 lebih sensitif terhadap debu / parasit dengan kecepatan 87,8 ms, sedangkan untuk sensor LM35 lebih baik yaitu 77,5 ms. Untuk kondisi penggantian sensor ke sensor backup pada penggunaan sensor LM35 dan DS18B20 memiliki kecepatan yang sama, waktu yang tercepat untuk kedua sensor ini sebesar 14,1 ms.

Kata kunci : analisis redudansi, kesalahan pembacaan sensor, kecepatan pembacaan, kecepatan respon perubahan temperature.

I. PENDAHULUAN

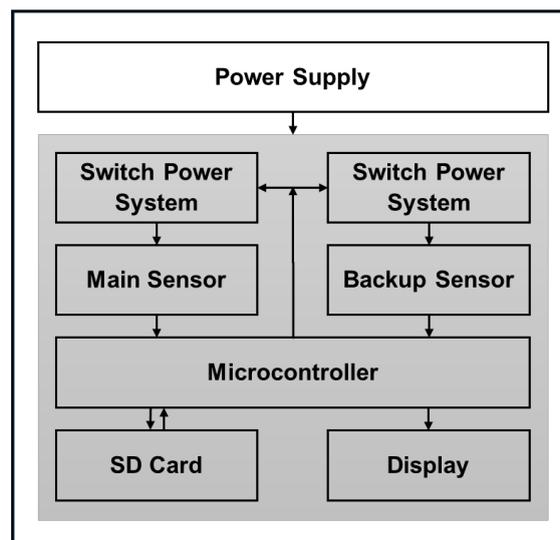
Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan pengujian *fault detection* dan *replacement* sensor temperatur pada penyimpanan tepung gandum, akan tetapi, penelitian tersebut hanya berfokus pada satu jenis sensor saja, serta tidak menguji beberapa kondisi dari sensor[1]. Kenaikan temperatur penyimpanan dari 27.5°C menjadi 37.5°C dapat mengakibatkan perubahan sifat fisik (warna) dari tepung gandum[2], hingga ledakan dari tempat penyimpanan, sedangkan suhu yang lebih rendah dapat mengakibatkan penurunan tingkat kelembaban pada tepung.

Pengukuran nilai temperatur yang benar pada penyimpanan tepung gandum sangat penting untuk memastikan kondisi tepung gandum yang tersimpan berada dalam batas-batas yang ditentukan. Pengukuran temperatur dilakukan dengan membandingkan pengukuran temperatur sensor dari texas instruments dan maxim integrated. Namun, karena banyaknya debu tepung yang beterbangan di dalam sistem penyimpanan (silo) yang dapat menghalangi sensor, pengukuran dapat memiliki kesalahan. Terhalangnya pembacaan sensor temperatur oleh debu juga terjadi pada [3]. Bila temperatur zona penyimpanan terukur terlalu rendah atau lebih rendah dari kondisi biasanya (berdasarkan pengetahuan operator), sensor akan dilepas dan dibersihkan, yang bisa memakan waktu. Selanjutnya, karena sensor memberikan pengukuran yang keliru, diperlukan waktu yang lama sampai operator mengetahui hal ini untuk melakukan tindakan.

Metodologi untuk mendeteksi kegagalan sensor temperatur (abnormal/rusak) merupakan topik penelitian yang aktif. Algoritma *fault detection* khusus telah diterapkan pada penelitian[4][5]. Algoritma kalman filter juga telah diaplikasikan pada penelitian[6]. Sedangkan analisis redundansi sendiri telah digunakan pada penelitian [7][8]. Pendekatan AI telah diusulkan pada penelitian[9]. Metode aproksimasi adaptif untuk mendeteksi *fault detection* juga telah digunakan pada penelitian [10]. Metode *smart detection* untuk *fault diagnosis* telah digunakan pada penelitian [11], sedangkan algoritma umum diaplikasikan pada penelitian [12].

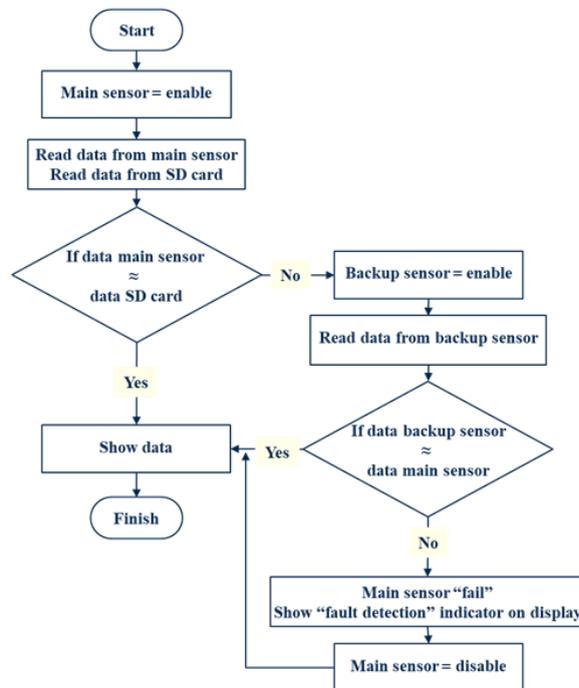
II. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deteksi kegagalan sensor berbasis pembelajaran online yang mengeksplorasi analisis redundansi untuk mendeteksi kesalahan dan mengganti sensor utama kemudian membandingkan sensor mana yang terbaik. Mengeksplorasi analisis redundansi, model yang dapat digunakan untuk mendeteksi pengukuran yang kurang tepat dari rekaman fisik dibangun secara online mengacu pada penelitian[1]. Sebuah jaringan saraf tiruan umpan balik tersembunyi yang dilatih menggunakan algoritma pembelajaran sekuensial acak seketika digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel masukan dan variabel yang diukur dengan sensor fisik digunakan dalam metodologi yang diusulkan ini. Untuk mendeteksi kemungkinan pengukuran abnormal yang diperoleh sensor fisik, kesalahan antara hasil prediksi model dan hasil pengukuran sensor fisik akan digunakan sebagai referensi. Pengukuran sensor sesungguhnya digantikan oleh pengukuran yang dihasilkan sensor backup dilakukan jika terjadi pengukuran abnormal.



Gambar 1. Arsitektur umum model sistem Sensor Silo Penyimpanan Tepung Gandum Sederhana[1].

Untuk mengetahui pengukuran yang terjadi abnormal atau tidak, maka diperlukan data referensi persatuan waktu pengukuran. Jika pengukuran dilakukan per 30 detik, maka data referensi yang dibutuhkan juga sama. Data ini kemudian disimpan pada SD card pada sistem. Ketika sistem bekerja, data ini yang akan dibandingkan dengan data temperatur yang terukur melalui sensor.



Gambar 2. Flowchart dari model Prototype sensor temperatur Silo Penyimpanan Tepung Gandum Sederhana dengan *fault detection* dan *replacement sensor*[1]

A. Pengolaan Data Secara Online

Pengelolaan data secara online diusulkan untuk langsung mengolah data yang didapatkan dari pembacaan sensor untuk menentukan pembacaan sensor ini benar atau tidak. Pada bagian ini analisis reudansi mulai digunakan untuk mengetahui ke-valid-an data.

1) Deteksi Outlier Online

Data yang muncul memiliki karakteristik unik yang terlihat sangat jauh berbeda dari observasi-observasi lainnya dan muncul dalam bentuk nilai ekstrim baik untuk sebuah variabel tunggal atau variabel kombinasi merupakan pengertian dari outlier[1]. Kondisi operasi abnormal pabrik, kegagalan pengukuran, perangkat keras, atau transmisi dapat menghasilkan outlier. Jika pengamatan outlier digunakan untuk memperbaiki model, prediksi dari model yang diperbarui dapat memburuk.

Untuk pendeteksian outlier diasumsikan bahwa datanya terdistribusi secara identik dan independen (i.i.d), dan teridentifikasi. Selanjutnya, karena perilaku proses waktu-variasi, kumpulan data pelatihan yang ditetapkan mewakili dinamika proses sulit dilakukan. Oleh karena itu metode tersebut tidak sesuai untuk aplikasi dibahas pada penelitian. Dalam algoritma sampel, sampel data masuk x pada waktu k dapat diidentifikasi sebagai outlier jika kondisi berikut terpenuhi:

$$X^n k^n = X(k) \quad (1)$$

Dimana data X disimpan dengan identitas n . Begitu pula waktu k disimpan dengan identitas n .

Setelah data semua disimpan pada sistem, maka analisis redundansi sudah bisa dilakukan. Analisis redundansi membandingkan data X pada waktu k dengan data yang terukur pada sensor pada waktu yang sama dengan k . Untuk persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{X^k}{Y^k} \approx 1 \quad (2)$$

$$\frac{X^k}{Y^k} \approx 1 \quad (3)$$

Dimana X^k adalah data pembanding yang berada dalam sistem, sedangkan Y^k merupakan data hasil pengukuran dari sensor.

Jika kondisi (2) terpenuhi, maka hasil pembacaan sensor dapat dikatakan valid, akan tetapi jika kondisi (3) yang terpenuhi maka dapat dikatakan terjadi floating pembacaan sensor. Kondisi ini akan memicu sensor backup untuk aktif dan melakukan pengukuran. Untuk kondisi sensor backup ini dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{Y^k}{Y_b^k} \approx 1 \quad (4)$$

$$\frac{X^k}{Y_b^k} \approx 1 \quad (5)$$

Dimana Y_b merupakan hasil pembacaan dari sensor backup pada waktu k .

Jika kondisi (4) terpenuhi maka dikatakan dalam sistem terjadi suatu gangguan sehingga terjadi perubahan temperatur yang berada diluar range temperatur yang diperbolehkan. Akan tetapi jika kondisi (5) yang terpenuhi, maka kondisi *fault detection* dikatakan terjadi, sehingga pembacaan sensor utama akan dialihkan ke sensor backup. 2

2) Penskalaan Data Online.

Variabel terukur mungkin memiliki besaran yang berbeda dalam proses industri. Selain itu data besar data yang dapat diolah oleh mikrokontroller biasanya terbatas, sehingga data perlu diskalakan. Untuk penskalaan ini digunakan referensi akumulator pada mikrokontroller yaitu besar data maksimal 8 bit atau 0-255. Sehingga data yang lebih besar dari nilai ini akan dibagi dengan 8 bit atau 255. Data hasil pembagian kemudian disimpan sebagai data skala. Sedangkan untuk data yang kurang dari nilai penskalaan ini tidak perlu diskalakan. Untuk penskalaan dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$S = \frac{D}{255} \quad (6)$$

Dimana S merupakan nilai hasil penskalaan data, data D merupakan data yang akan diskalakan.

Setelah data diolah, data perlu dikembalikan ke bentuk semula, sehingga perlu persamaan untuk mengembalikan data tersebut. Untuk itu diperlukan persamaan berikut untuk mengembalikan penskalaan.

$$D = S . 255 \quad (7)$$

B. Metodologi

Berikut metodologi yang diusulkan untuk mendeteksi kegagalan sensor dan penggantian sensor dijelaskan pada algoritma berikut:

- Kumpulkan data sampel, semakin banyak data sampel maka akan dapat mewakili setiap kondisi persatuan waktu. Data sampel ini didapatkan dari pabrik.
- Masukkan data ke sistem dengan persamaan (1). Data harus melingkupi 2 hal yaitu data temperatur dan data waktu.
- Data diskalakan dengan persamaan (6)
- Sistem siap dioperasikan
- Pada saat semua awal, data temperatur terukur akan dibandingkan dengan data yang telah berada pada sistem yang telah dimasukkan pada step ke 2 tadi.
- Jika kondisi pada persamaan (2) terjadi, maka kondisi dikatakan normal.
- Jika kondisi pada persamaan (3) terjadi, maka sensor dinyatakan kondisi floating, sehingga kondisi ini memicu sensor backup untuk aktif.
- Setelah sensor backup aktif, maka data pembacaan sensor utama yang dinyatakan kondisi floating tadi dibandingkan dengan data pembacaan sensor backup.
- Apabila kondisi pada persamaan 4 yang terpenuhi, maka dinyatakan kondisi penyimpanan telah terjadi masalah yang mengakibatkan perubahan temperatur diluar batas yang diperbolehkan.
- Jika kondisi pada persamaan (5) yang terjadi, maka kondisi dinyatakan *fault* untuk sensor utama, sehingga pengukuran temperatur selanjutnya dialihkan ke sensor backup.
- Data diunsalkan dengan persamaan (7) untuk ditampilkan.
- Kondisi ini juga akan memberikan peringatan kepada pengguna melalui tampilan pada display.

C. Metodologi Validasi

Untuk metodologi validasi yang diajukan, disuntikkan kesalahan pada target output untuk mengevaluasi kemampuan deteksi kesalahan sensor. Kesalahan disuntikkan dengan mengganggu kinerja sensor dengan pengendapan hingga merusak sensor. Pengendapan dilakukan dengan 4 variasi, yaitu 10 gram, 20 gram, 30 gram dan 40 gram. Kemudian data dari sensor dengan pengendapan ini dibandingkan dengan data dari sensor tanpa pengendapan. Untuk pengambilan data kondisi sensor yang rusak dilakukan dengan mengambil data sensor yang telah diberi tegangan melebihi tegangan kerja sensor hingga keluar asap pada sensor. Data ini juga dimasukkan pada grafik hasil pengujian.

Table 1. Tabel simulasi model pengendapan debu pada sensor

Persentase Debu	LM35 	DS18B20 
0 gram		
10 gram		
20 gram		
30 gram		
40 gram		

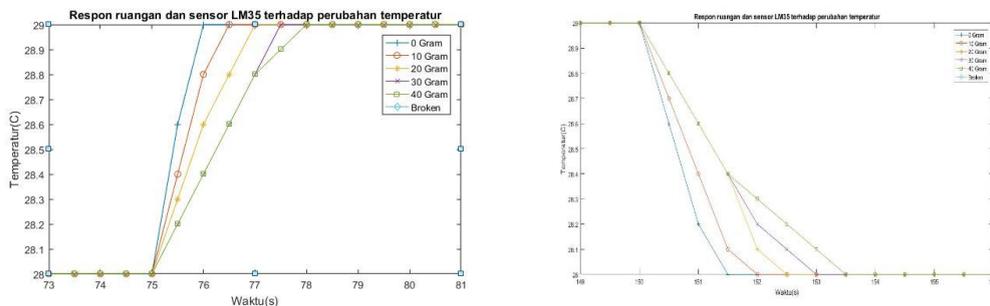
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Respon model Ruang Silo dan Sensor terhadap Perubahan Temperatur dengan Pembacaan Sensor

Pengujian respon ruang silo dan sensor ini bertujuan mengamati respon ruangan dan sensor terhadap kenaikan temperatur dan penurunan temperatur. Pengujian ini dilakukan dengan mengalirkan udara dengan temperatur ± 26 C ke dalam sistem silo kemudian perlahan dinaikkan hingga temperatur ± 30 C kemudian perlahan diturunkan kembali hingga temperatur ± 26 C. Setelah itu diambil respon dari beberapa perubahan temperatur untuk setiap kondisi / variasi pengendapan sensor dijelaskan sebagai berikut.

1) Hasil Pengujian model Respon Ruang Silo dan Sensor LM35

Berikut grafik hasil pengujian respon ruang silo dan sensor LM35 terhadap perubahan temperatur. Grafik berikut mewakili setiap perlakuan ruang silo dan sensor terhadap kenaikan dan penurunan temperatur. Dari grafik ini juga terlihat perbedaan respon sensor berdasarkan banyaknya pengendapan.

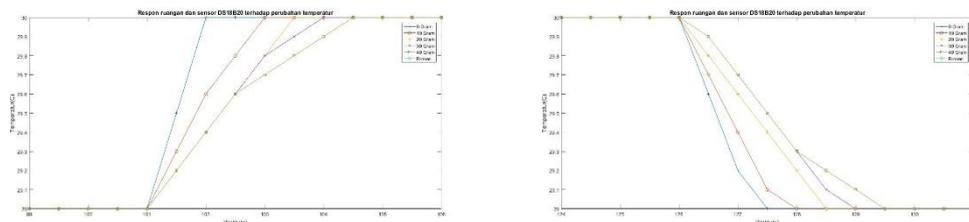


Gambar 3. Respon ruangan dan sensor terhadap perubahan temperatur (kiri) LM35 kenaikan temperatur dari 28C ke 29C, (kanan) LM35 penurunan temperatur dari 29C ke 28C

Dari grafik diatas terlihat respon ruangan dan sensor LM35 pada perubahan temperatur membutuhkan waktu terlama ± 3 detik pada pengendapan ± 40 gram. Semakin sedikit pengendapan maka respon ruangan dan sensor semakin cepat dan sebaliknya. Untuk sensor dengan kondisi rusak data sensor terlalu tinggi hingga tidak tampil pada grafik

2) Hasil Pengujian Respon Ruang Silo dan Sensor DS18B20

Berikut ini ditampilkan grafik respon ruang silo dan sensor DS18B20 terhadap perubahan temperatur. Grafik berikut mewakili setiap perlakuan ruang silo dan sensor terhadap kenaikan dan penurunan temperatur. Dari grafik ini juga terlihat perbedaan respon sensor berdasarkan banyaknya pengendapan.

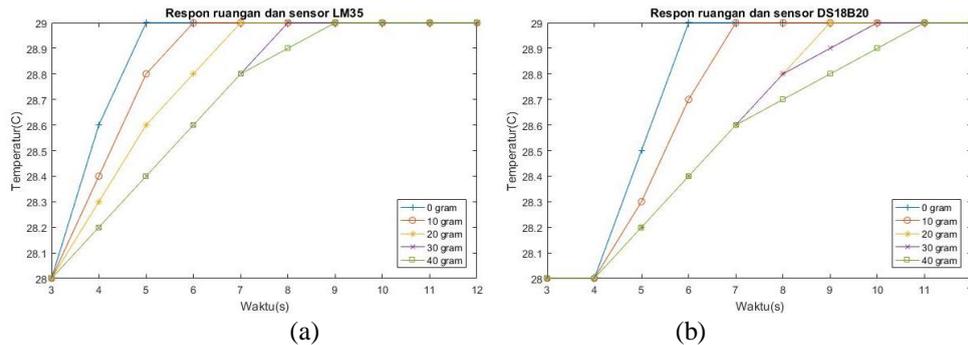


Gambar 4. Respon ruangan dan sensor terhadap perubahan temperature (kiri) DS18B20 kenaikan temperatur dari 29C ke 30C (kanan) DS18B20 penurunan temperatur dari 30C ke 29C

Dari grafik diatas terlihat respon ruangan dan sensor DS18B20 pada perubahan temperatur membutuhkan waktu terlama ± 4 detik pada pengendapan ± 40 gram. Semakin sedikit pengendapan maka respon ruangan dan sensor semakin cepat dan sebaliknya.

3) Perbandingan Hasil Pengujian

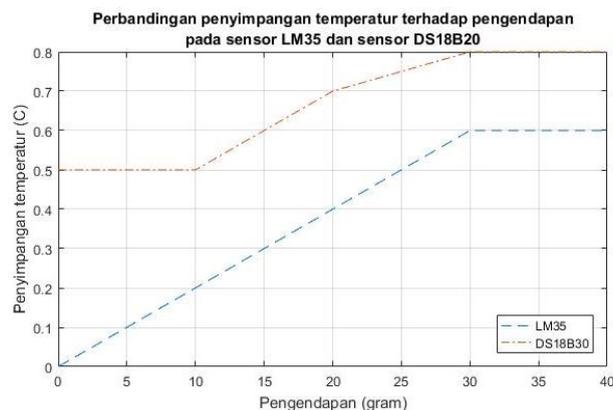
Tujuan dari perbandingan hasil pengujian ini adalah untuk mengetahui hasil perbandingan respon waktu dari kedua sensor yang telah diuji sebelumnya. Salah satu data yang kondisinya sama diambil untuk kemudian dibandingkan. Pada bagian ini terdiri atas 2 grafik. Grafik pertama yaitu grafik respon ruangan dan sensor (LM35 dan DS18B20) terhadap perubahan temperatur dan grafik perbandingan tundaan terhadap pengendapan pada sensor LM35 dan sensor ds18B20. Berikut hasilnya.



Gambar 5. Respon ruangan dan sensor terhadap kenaikan temperatur dari 28 C ke 29 temperatur, (a) LM35 dan (b) DS18B20

Pada grafik diatas perubahan temperatur terjadi pada detik ke 3. Sensor LM35 langsung merespon perubahan temperatur yang terjadi, sedangkan sensor DS18B20 terjadi tundaan 1 detik. Pada grafik juga terlihat semakin banyak pengendapan, maka respon sensor juga semakin lambat. Selanjutnya data dari grafik diatas dirangkum pada satu grafik sehingga akan terlihat perbedaan dari kedua sensor ini. Data penyimpanan temperatur diambil pada detik ke 5 mengingat detik ini merupakan waktu perbandingan database dengan pembacaan sensor.

Dari grafik diatas juga terlihat respon ruangan dan sensor LM35 pada perubahan temperatur membutuhkan waktu terlama ± 3 detik. Untuk respon ruangan dan sensor DS18B20 respon terlama ± 4 detik. Dari grafik ini terlihat semakin banyak pengendapan pada sensor maka respon sensor terhadap perubahan temperatur juga semakin lambat. Data pengujian ini kemudian dijadikan referensi untuk pengujian selanjutnya untuk mengetahui pada kondisi mana sistem mulai mendeteksi kegagalan sensor



Gambar 6. Perbandingan penyimpangan temperatur terhadap pengendapan pada sensor LM35 dan sensor DS18B20

Dari grafik diatas terlihat tundaan tanggapan untuk sensor DS18B20 jauh lebih besar dibandingkan sensor LM35. Dari grafik ini juga sudah bisa kita prediksi jika toleransi pembacaan

temperatur yang digunakan pada sistem sebesar 0,5 C, maka akan terjadi *fault* sensor pada LM35 dengan pengendapan 30 gram dan 40 gram, sedangkan untuk sensor DS18B20 akan terjadi *fault* sensor pada pengendapan 20 gram, 30 gram dan 40 gram. Bagian ini merupakan cerminan pengujian sebelumnya serta rangkuman hasil pengujian respon ruang silo, sensor LM35 dan sensor DS18B20 terhadap perubahan temperatur dengan 5 kondisi pengendapan

B. Fault Detection dan Replacement

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pada pengendapan mana sistem sensor mengalami *fault*. Pada tahap ini sensor tetap dimodelkan mengalami pengendapan seperti pada tabel 2. Selain sensor, temperatur sistem silo juga dimodelkan sama dengan temperatur yang berada pada sistem database. Sistem waktu pengujian diambil pada pagi hari sekitar pukul 9.30, mengingat pada database pada waktu ini, terjadi kenaikan temperatur yang cukup besar pada sistem silo. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan.

1) LM35

Untuk sensor LM35, kondisi sensor ditabelkan sebagai berikut.

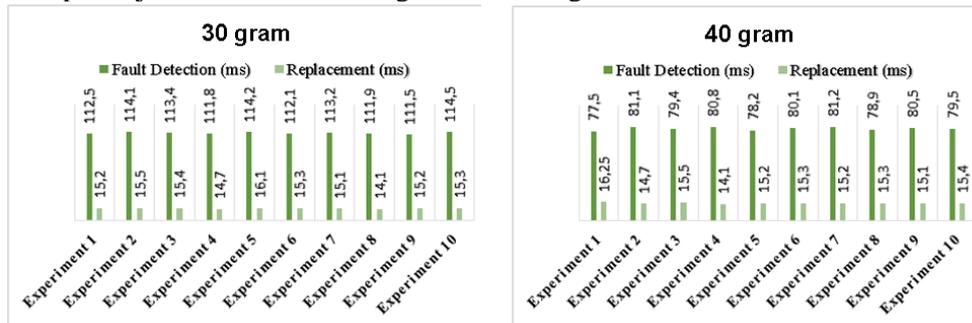
Tabel 2. Hasil percobaan kondisi *fault detection* dan *replacement* pada sensor LM35

Percobaan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 gram	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x
10 gram	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x
20 gram	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x
30 gram	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
40 gram	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Keterangan :

- v Terjadi *fault detection* dan *replacement* sensor
- x Tidak terjadi *fault detection* dan *replacement* sensor

Dari tabel terlihat kondisi *fault* sensor terjadi pada pengendapan mulai 30 gram. Hal ini diakibatkan pada pengendapan ini mulai penyimpangan temperatur sebesar 0,6 C lebih ari toleransi (0,5 C). Kemudian di rincikan waktu terjadinya kondisi *fault* sensor dan *replacement* sensor. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pada pengendapan mana (besar atau kecil) kondisi *fault* sensor dan *replacement* sensor lebih cepat terjadi. Untuk data ini digrafikkan sebagai berikut.



Gambar 7. Waktu *fault detection* dan *replacement* untuk (kiri) kondisi pengendapan 30 gram dan (kanan) kondisi pengendapan 40 gram

Dari grafik diatas terlihat, semakin besar pengendapan, maka kondisi *fault* akan semakin cepat tercapai. Kondisi *fault* tercepat tercapai pada percobaan pertama pengendapan 40 gram dengan waktu 77,5 ms. Untuk kondisi *replacement*, kecepatan terbaik adalah 14,1 ms pada percobaan ke 4 pengendapan 40 gram.

2) DS18B20

Untuk sensor DS18B20, kondisi sensor ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil percobaan kondisi *fault detection* dan *replacement* pada sensor DS18B20

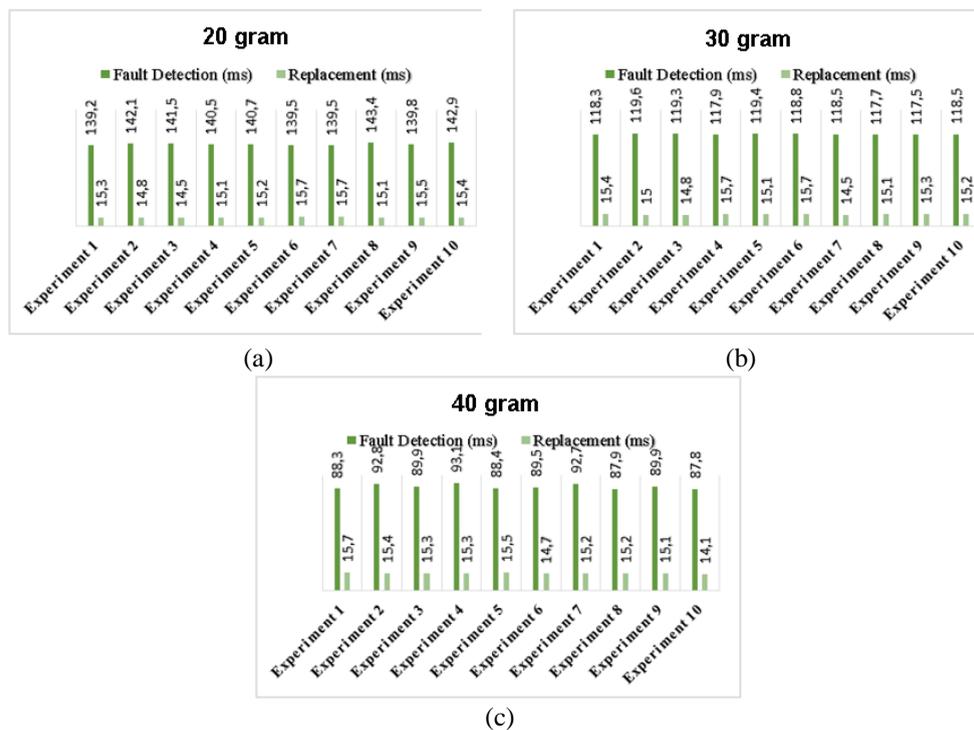
Percobaan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 gram	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10 gram	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
20 gram	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
30 gram	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
40 gram	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Keterangan :

- v Terjadi *fault detection* dan *replacement* sensor
- x Tidak terjadi *fault detection* dan *replacement* sensor

Dari tabel terlihat kondisi *fault* sensor terjadi pada pengendapan mulai 20 gram. Hal ini diakibatkan pada pengendapan ini mulai penyimpangan temperatur sebesar 0,7 C lebih ari toleransi (0,5 C).

Dari tabel diatas kemudian di rincikan waktu terjadinya kondisi *fault* sensor dan *replacement* sensor. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pada pengendapan mana (besar atau kecil) kondisi *fault* sensor dan replacement sensor lebih cepat terjadi. Untuk data ini digrafikkan sebagai berikut.



Gambar 8. Waktu *fault detection* dan *replacement* untuk (a) kondisi 20 gram, (b) kondisi 30 gram dan (c) kondisi 40 gram

Dari grafik diatas terlihat, semakin besar pengendapan, maka kondisi *fault* akan semakin cepat tercapai. Kondisi *fault* tercepat tercapai pada percobaan ke 10 penganapan 40 gram dengan waktu 87,8 ms. Untuk kondisi replacemant, kecepatan terbaik adalah 14,1 ms pada percobaan ke 10 pengendapan 40 gram.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan, metodologi yang diusulkan untuk mendeteksi kesalahan dan penggantian sensor pada sistem sensor suhu penyimpanan sementara tepung gandum menunjukkan ini berhasil digunakan. Selain menggunakan redundansi non-fisik, redundansi fisik juga dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor utama dengan sensor backup. Semakin banyak debu yang menempel pada sensor maka kegagalan sensor juga akan cepat terjadi. Dari beberapa percobaan dihasilkan perbandingan kecepatan respon perubahan temperatur dari sensor. Kecepatan pembacaan perubahan temperatur dari sensor texas instruments (LM35) lebih baik dibandingkan sensor dari maxim integrated (DS18B20). Akan tetapi akurasiya berbanding terbalik. Untuk kecepatan pendeteksian kesalahan dan penggantian sensor, piranti dari texas instruments lebih baik dari maxim integrated. Untuk kecepatan pembacaan kegagalan sensor DS18B20 lebih sensitif terhadap debu / parasit dengan kecepatan 87,8 ms, sedangkan untuk sensor LM35 lebih baik yaitu 77,5 ms. Untuk kondisi penggantian sensor ke sensor backup pada penggunaan sensor LM35 dan DS18B20 memiliki kecepatan yang sama, waktu yang tercepat untuk kedua sensor ini sebesar 14,1 ms.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Habriansyah I, Andani, Zainuddin Zahir, “*Fault Detection and Replacement of a Temperature Sensor in Wheat Flour Short Term Storage*”, 5th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA), 2017.
- [2] Ahmed Muneer Saif Hasan, “Effect of Storage Temperature and Periods on Some Characteristics of Wheat Flour Quality”, *Food and Nutrition Sciences Journal*, Vol. 6, pp. 1148-1159, 2015.
- [3] Matias Tiago, Gabriel Dulce, Souza Francisco, Araujo Rui, Pereira J. Costa, “*Fault Detection and Replacement of a Temperature Sensor in a Cement Rotary Kiln*”, IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2013.
- [4] Ren Yingying, Ding Da-Wei, “*Fault Detection for Two-Dimensional Roesser Systems With Sensor Faults*”, IEEE Open Access Journal, Vol. 4, 2016.
- [5] Baklouti Raoudha, Mansouri Majdi, Nounou Mohamed, Messaoud Zaineb Ben dan Hamida Ahmed Ben, “Generalized Hebbian Algorithm for *fault detection* of CSTR model”, *Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, 2016 2nd International Conference on, July 2016.
- [6] Foo Gilbert Hock Beng, Zhang Xinan, Vilathgamuwa D. M., “A Sensor *Fault Detection* and Isolation Method in Interior Permanent-Magnet Synchronous Motor Drives Based on an Extended Kalman Filter”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 60, 2013.
- [7] Reppa Vasso, Polycarpou Marios M., “A Distributed Architecture for HVAC Sensor *Fault Detection* and Isolation”, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 23, 2015.
- [8] Cho Sungwhan, Jiang Jin, “*Detection of Sensor Abnormalities in a Pressurizer by means of Analytical Redundancy*”, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 63, 2016
- [9] Michail Konstantinos, Deliparaschos Kyriakos M., Tzafestas Spyros G., Zolotas Argyrios C., “AI-Based Actuator/Sensor *Fault Detection* With Low Computational Cost for Industrial Applications”, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 24, 2016
- [10] Reppa Vasso, Polycarpou Marios M., Panayiotou Christos G., “Adaptive Approximation for Multiple Sensor *Fault Detection* and Isolation of Nonlinear Uncertain Systems”, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, Vol. 25, 2014.
- [11] Nivetha P., Gomathi V., Ramkumar K., Balsubramanian G., dan Guruprasath M., “*Fault diagnosis operation of a cement kiln process using structural analysis*”, *Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*, 2015 International Conference on, Agustus 2015.
- [12] Dong Wang, Shaojie Zhang, Weifang Shuang, Li Wang, Jing Yin, dan Yuanming Yuan, “A *fault detection* method based on wavelet theory for satellite power systems”, *Control and Decision Conference (CCDC)*, 2015 27th Chinese, July 2015.