



Prototipe Pembaca Skala Neraca dengan Sensor *Gyroscope*

Scale-reader prototype with Gyroscope Sensor

Dudi Adi Firmansyah^{a,1}, Nyoman Mira Oktariani^a, Tika^a, Endang Juliastuti²

^a Akademi Metrologi dan Instrumentasi
Institut Teknologi Bandung

¹ dudiadifirmansyah@gmail.com; ² yuliast@tf.itb.ac.id

Abstrak. Neraca hingga saat ini masih banyak digunakan di dalam perdagangan emas dan keperluan pengujian anak timbangan di berbagai laboratorium. Dalam penggunaan neraca, proses pembacaan skala dari simpangan jarum penunjuk skala memegang peranan yang sangat penting, karena nilai kesetimbangan skala neracanya dapat diubah menjadi selisih massa di piringan kiri dan kanan neraca setelah dikalikan dengan nilai skalanya. Selisih massa tersebut menjadi nilai *error* anak timbangan uji terhadap anak timbangan standar yang menentukan keabsahan penggunaan anak timbangan untuk transaksi perdagangan. Meskipun demikian, dengan posisinya sangat penting tersebut, pembacaan skala masih banyak dilakukan secara manual dengan pengalaman visual yang berpotensi adanya kesalahan paralaks. Oleh karena itu, pada studi ini telah dibuat prototipe alat pembaca jarum penunjuk skala neraca berbasis mikrokontroler dengan sensor *gyroscope* MPU-6050 yang dilengkapi denganudukan sensor berbahan plastik. Hasil pengukuran prototipe tersebut memiliki ketelitian 1/100 kali lebih baik dibandingkan dengan pengamatan manual. Hal ini berakibat pada penurunan rentang *error* rata-rata dari rentang -0.0038 gram hingga -0.0321 gram menjadi rentang -0.0004 gram hingga -0.0253 gram pada saat pengujian anak timbangan M1 200 gram, 500 gram dan 1000 gram dengan anak timbangan standar F2.

Kata Kunci: neraca, pembacaan skala, sensor gyroscope,udukan sensor, pengujian, anak timbangan.

Abstract. Until nowadays scales are still widely used in gold trading and scale testing requirements at various laboratories. In the scale usage, the scale reading process from the scale pointer needle deviation has a very important role, because the equilibrium scale of the scale can be converted into the mass difference on the left side and right side of the scale after multiplied with the scale value. The difference of the mass became the error value of the standard scale which determines the validity of the scale usage for trading transactions. Nevertheless, with its very important position, manual scale reading with visual observation with its potential of the parallax error is still widely practiced. Therefore, a prototype for reading the needle pointer of the scale with microcontroller base with gyroscope sensor MPU-6050 enforced with sensor holder made of plastic has been made for this study. The measurement result of the prototype had the accuracy of 1/100 times better compared to manual observation. That is causing the average error range decrease from a range of -0.0038 grams to -0.0321 grams into the range of -0.0004 grams to -0.0253 grams on the scale test of M1 200 grams, 500 grams, and 1000 grams with a standard F2 scale.

Keywords: scale, scale reading, gyroscope sensor, sensor holder, testing, scale reader..

1 Pendahuluan

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1981 tentang Metrologi Legal, metrologi adalah ilmu pengetahuan tentang mengukur secara luas. Dalam prakteknya, pengukuran dalam metrologi menggunakan alat ukur, alat takar, alat timbang dan alat perlengkapan untuk pengukuran kuantitas, penakaran, kualitas, dan penimbangan yang disebut alat ukur, takar, timbang dan perlengkapannya (UTTP). Untuk UTTP yang digunakan pada transaksi ekonomi, kesehatan dan keselamatan, UTTP tersebut harus dapat dijamin kebenarannya.

Untuk itu, terdapat beberapa upaya yang dilakukan yaitu tera, tera ulang dan kalibrasi yang dilakukan secara berkala untuk memastikan nilai kebenaran UTTP tetap terjaga.

Salah satu contoh UTTP yang banyak digunakan di masyarakat adalah neraca sebagai timbangan untuk meracik obat dan transaksi perdagangan emas. Marliani [1] menjabarkan bahwa neraca adalah jenis timbangan yang sederhana dan terdiri dari sebatang tuas yang dapat berputar pada sumbu atau pisau di tengah-tengahnya, kemudian pada ujung lengan tuas kiri dan tuas kanan digantung piringan untuk menaruh benda yang ditimbang dan anak timbangan yang telah diketahui massa sebenarnya atau anak timbangan standar. Berdasarkan prinsip kerja dan konstruksinya tersebut, neraca memiliki keistimewaan dapat mendeteksi selisih massa yang kecil antara benda yang ditimbang dengan anak timbangan standarnya, sekaligus dapat menentukan massa dari benda tersebut. Oleh karena itu, neraca banyak digunakan untuk pengujian anak timbangan di laboratorium dari lembaga metrologi legal, lembaga penelitian dan lembaga pendidikan.

Pada penentuan massa benda uji dengan neraca, pembacaan simpangan jarum neraca memiliki peranan yang sangat penting dalam konversi skala menjadi massa. Hal ini dikarenakan nilai simpangan skala jarum skala akan diubah setelah dikalikan dengan nilai skala menjadi nilai selisih massa antara benda uji dan anak timbangan standar. Selanjutnya, nilai massa benda uji ditentukan dari penjumlahan massa anak timbangan standar dan selisih massa tersebut. Kemudian, kesalahan anak timbangan uji dapat ditentukan dari selisih massa anak timbangan uji dan anak timbangan standar, dan apabila nilai kesalahan tersebut masih di bawah nilai toleransi kesalahan anak timbangan di dalam syarat teknis anak timbangan yang ditetapkan oleh Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri [2], maka anak timbangan uji tersebut sah untuk digunakan dalam transaksi.

Marliani [1] juga menjelaskan dalam konstruksi neraca, jarum penunjuk skala neraca berfungsi sebagai indikator penunjuk kesetimbangan neraca yang dapat berayun ke kiri dan kanan melewati garis-garis skala yang di tengahnya diberi angka nol sebagai penanda neraca berada dalam keadaan setimbang. Meskipun pembacaan skala jarum neraca sangat penting dalam pengujian anak timbangan, sampai saat ini di Indonesia, pembacaan tersebut masih dilakukan dengan cara konvensional menggunakan mata. Hal ini dapat menjadi sumber kesalahan pembacaan skala akibat efek paralaks dan kurangnya ketelitian pembacaan. Dengan demikian, kesalahan pembacaan tersebut akan berdampak pada kesalahan penentuan massa benda uji.

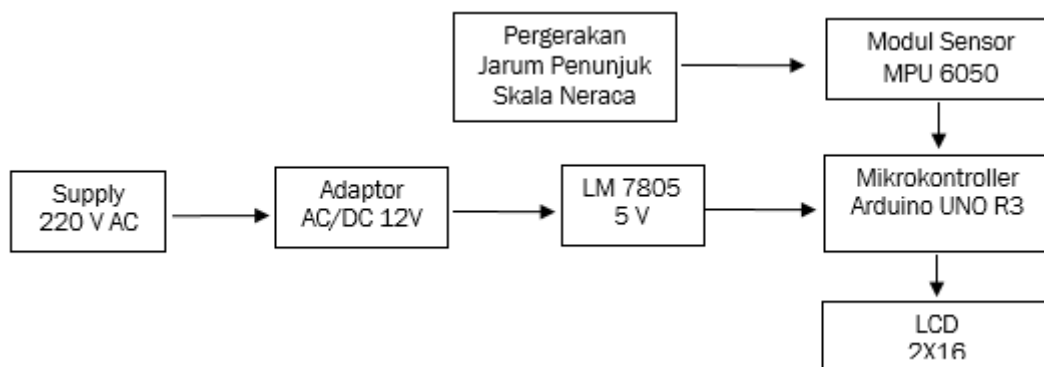
Untuk mengurangi kesalahan pembacaan sekaligus untuk meningkatkan ketelitian pengukuran, perancangan alat yang dapat menampilkan pembacaan skala jarum neraca secara digital menjadi sangat diperlukan. Untuk mewujudkan hal ini, maka alat tersebut harus menggunakan sensor posisi yang dapat membaca pergerakan jarum neraca untuk selanjutnya dapat ditampilkan pada layar *LCD*. Setiawan [3], Tripathi [4] dan Ginting [5] telah melakukan studi bahwa salah satu jenis sensor posisi yang banyak digunakan untuk mendeteksi pergerakan benda adalah sensor *gyroscope* MPU 6050. Malthotra [6], Setiawan [3], dan Tripathi [4] juga menjelaskan bahwa sensor *gyroscope* MPU 6050 merupakan sebuah sensor gerak yang mengintegrasikan sensor *accelerometer* 3-sumbu, sensor *gyroscope* 3 sumbu dan pengolah gerakan digital (*Digital Motion Processor*) sehingga sensor tersebut memiliki kemampuan untuk mendeteksi pergerakan pada sumbu X, Y, dan Z secara bersamaan dalam satu waktu dan akurat dengan resolusi $0,01^\circ$. Selain spesifikasinya yang lengkap tersebut, Setiawan [3] juga menjelaskan bahwa sensor *gyroscope* MPU 6050 mudah diperoleh di pasar lokal dan penggunaannya yang relatif mudah.

Dengan berbagai kelebihan tersebut, Ginting [5] telah melakukan studi terhadap sensor *gyroscope* MPU 6050 yang dirangkai dengan mikrokontroler dan *LCD* menjadi prototipe alat

pembaca jarum penunjuk skala neraca digital yang digunakan dalam pengujian anak timbangan 1 kg dan 2 kg dengan neraca berkapasitas 10 kg. Meskipun demikian, alat tersebut masih belum cukup akurat dengan adanya selisih pengujian anak timbangan sebesar 0.55155 gram. Ginting [5] menjelaskan tingginya *error* tersebut akibat kesalahan data *random* dari efek induksi medan magnetik dari bahan besi di sekitar sensor. Berdasarkan latar belakang tersebut, pada studi ini akan dibuat prototipe alat pembaca jarum penunjuk skala neraca dari sensor *gyroscope* MPU 6050 yang dilengkapi dengan pelindung/dudukan sensor dari efek medan magnet besi di sekitarnya.

2 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap yaitu pembuatan prototipe alat pembaca jarum penunjuk skala neraca, pemasangan prototipe alat pembaca skala jarum neraca, dan pengujian anak timbangan. Tahap pertama adalah pembuatan prototipe alat pembaca jarum penunjuk skala neraca. Pada tahap ini, komponen-komponen yang diperlukan terdiri dari sensor *gyroscope* MPU 6050, Arduino Uno R3, adaptor, LM 7805, dan LCD 2x16. Pergerakan jarum penunjuk skala neraca akan dibaca oleh sensor MPU 6050 berupa percepatan objek yang bergerak terhadap gravitasi bumi pada tiga sumbu yang selanjutnya akan diubah menjadi kecepatan sudut dan sudut kemiringan pada sumbu x, y, dan z. Selanjutnya, data dari sensor tersebut akan diolah oleh mikrokontroler Arduino Uno R3 menjadi skala neraca yang dapat ditampilkan pada LCD 2x16. Mikrokontroler tersebut diberikan daya 5V dari voltage regulator LM 7805 sebagai penurun tegangan DC dari 12V ke 5V dan adaptor AC/DC 12V sebagai pengubah tegangan AC 220V menjadi tegangan DC 12V. Prinsip kerja dari alat tersebut dirangkum pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram blok prototipe alat pembaca jarum skala neraca

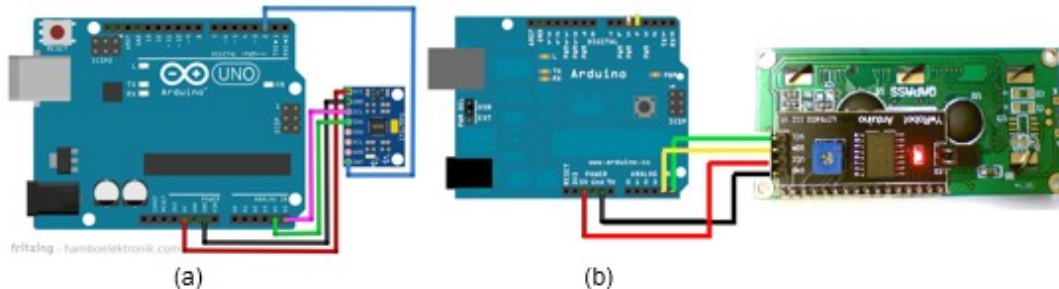
Pada saat membaca gerakan jarum skala neraca, Saddam [7] menguraikan bahwa mikrokontroler Arduino Uno R3 menerima data pengukuran sensor *gyroscope* MPU 6050 melalui pin-pin sebagai berikut:

1. Pin VCC sensor dihubungkan dengan supply 5V Arduino untuk memperoleh daya.
2. Pin GND sensor dihubungkan dengan pin GND Arduino.
3. Pin SCL sensor dihubungkan dengan pin analog input A4 Arduino.
4. Pin SDA sensor dihubungkan dengan pin analog input A5 Arduino.
5. Pin INT sensor dihubungkan dengan pin digital yaitu pin 2 Arduino.

Selanjutnya, hasil pengolahan data oleh mikrokontroler Arduino Uno R3 berupa nilai skala ditransmisikan ke LCD I2C melalui pin-pin berikut:

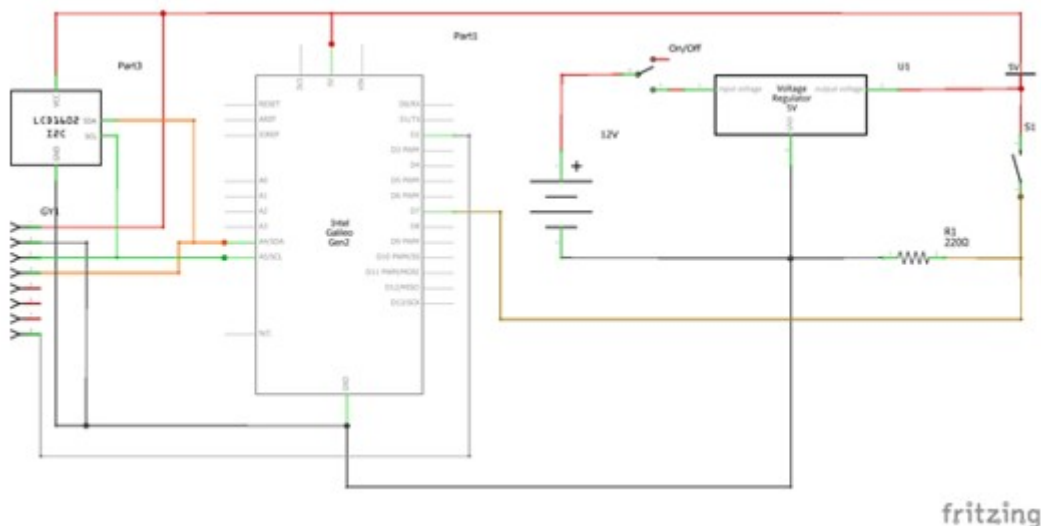
1. Pin GND LCD I2C dihubungkan dengan pin GND Arduino.
2. Pin VCC LCD I2C dihubungkan dengan pin 5 Volt Arduino.
3. Pin SDA LCD I2C dihubungkan dengan pin analog input A4 Arduino.

4. Pin SCL *LCD I2C* dihubungkan dengan pin analog input A5 Arduino. Rangkaian mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan sensor *gyroscope* MPU 6050 dan *LCD I2C* ditunjukkan pada Gambar 2 berikut:



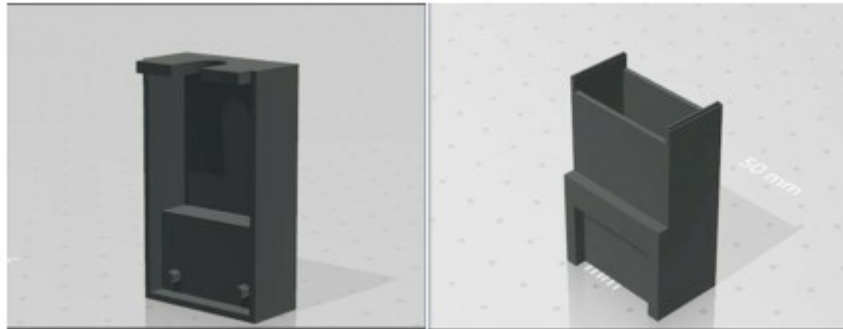
Gambar 2. Rangkaian mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan sensor (a) dan *LCD* (b)

Secara keseluruhan, *wiring diagram* dari prototipe alat pembaca jarum penunjuk skala neraca ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



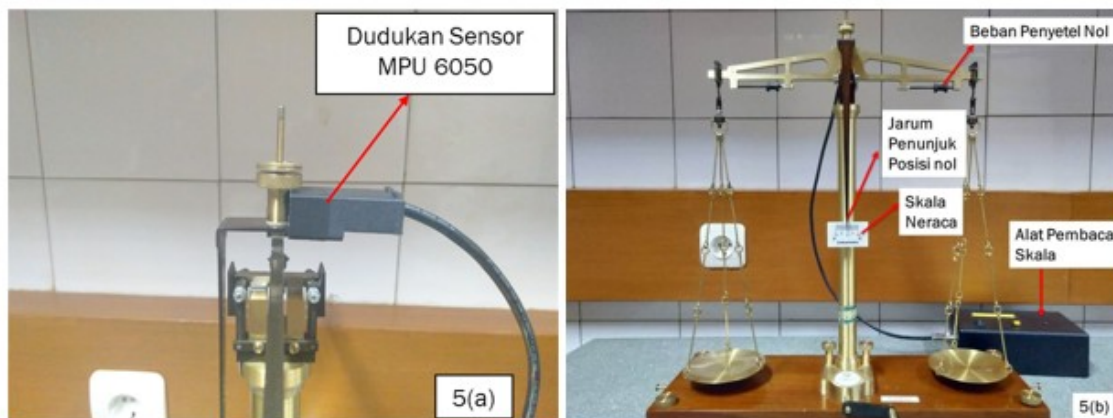
Gambar 3. *Wiring diagram*

Selanjutnya, tahap kedua adalah pemasangan sensor yang terdiri dari pembuatan dudukan sensor, penentuan posisi sensor dan *setting nol*. Tiga hal tersebut menjadi fokus yang sangat penting pada studi ini. Hal ini dikarenakan sensor ini memiliki tingkat pelacakan gerak yang sangat presisi dari gerakan cepat atau lambat dengan rentang *gyroscope* skala penuh dari $\pm 250^\circ$, $\pm 500^\circ$, $\pm 1000^\circ$, dan $\pm 2000^\circ$ /detik (*degree per seconds*, dps) dan rentang skala penuh accelerometer dari $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, dan $\pm 16g$ seperti yang dijelaskan oleh Bhuyan [8]. Oleh karenanya, sensor ini harus diposisikan dengan stabil pada neraca agar pengukuran yang dideteksi oleh sensor adalah gerakan yang berasal dari jarum penunjuk skala neraca bukan gangguan yang lain seperti gangguan dari induksi medan magnetik bahan besi dari sekitar sensor seperti yang dijelaskan oleh Ginting [5], getaran, aliran udara dari *air conditioner* dan gangguan dari peletakan sensor itu sendiri. Untuk meminimalisir hal tersebut, maka pada studi ini dibuat dudukan sensor menggunakan bahan plastik dengan teknologi *3D printing* yang dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Dudukan Sensor MPU 6050

Selanjutnya, penentuan posisi sensor dan *setting* nol neraca dilakukan untuk meminimalisir pengaruh keberadaan sensor terhadap hasil pengukuran sensor dan menghasilkan pengukuran yang benar. Hasil beberapa kali percobaan, penempatan sensor pada titik tumpu lengan neraca yang ada jarum penunjuk simpangan neraca, pengaruh dari keberadaan sensor dapat diminimalkan. Posisi dudukan sensor dapat dilihat pada Gambar 5(a). Karena neraca merupakan timbangan yang sensitif terhadap perubahan massa baik pada kedua lengan muatan maupun pada jarum skala neracanya, maka *setting* nol neraca harus dilakukan agar jarum penunjuk skala neraca menunjukkan nol pada saat akan dilakukan pengujian. *Setting* nol dilakukan dengan mengatur jarak beban penyetel nol pada lengan neraca, hingga jarum penunjuk skala neraca menunjukkan nol yang berarti lengan kiri dan lengan kanan sudah seimbang. Bagian penyetel nol dan keadaan neraca hasil *setting* nol ditunjukkan pada Gambar 5(b). Setelah *setting* nol, hubungan antara skala simpangan pada neraca dan sudut yang dihasilkan ditentukan dengan cara mengamati sudut yang dibaca oleh sensor pada berbagai skala simpangan neraca, lalu hubungan antara sudut dan skala neraca tersebut dibuat menjadi kurva kalibrasi yang persamaannya akan dimasukkan ke dalam program di dalam mikrokontroler untuk menghitung nilai skala.



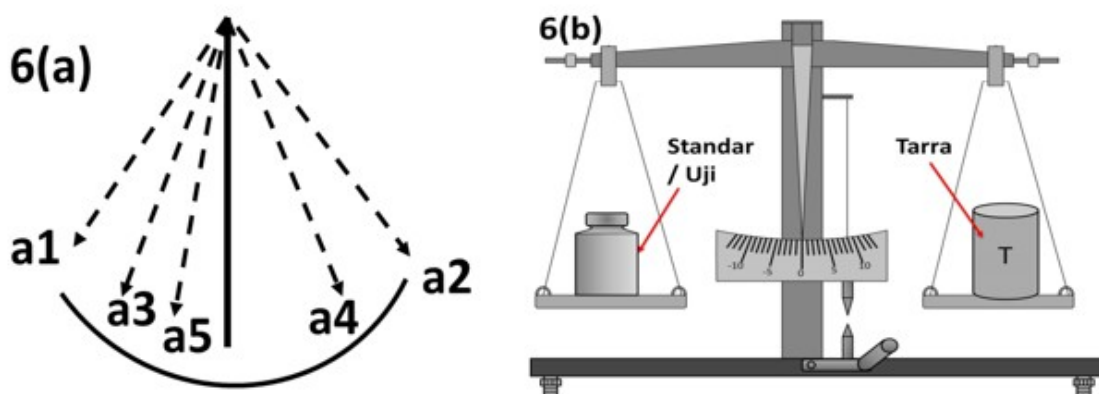
Gambar 5. Dudukan Sensor MPU 6050(a) dan hasil *setting* nol (b)

Selanjutnya, tahap ketiga adalah pengujian anak timbangan untuk membandingkan hasil pengujian secara konvensional menggunakan pengamatan visual dan dengan menggunakan prototipe alat pembaca jarum skala neraca. Peralatan yang digunakan pada pengujian ini terdiri dari anak timbangan standar dan Tarra F2 1 g – 1000 g (No. Seri M1/ AT.F2/ 14); Anak Timbangan Uji Kelas M1 dengan masing-masing nominal 1000 g, 500 g, dan 200 g; neraca kapasitas 1 kg; imbuh kelas F2 untuk penentuan nilai skala neraca dengan kapasitas 1 – 500 mg

(No. Seri M1/ AT.F2/ 14), pinset, form untuk penulisan data pengujian, dan sertifikat anak timbangan standar.

Metode pengujian anak timbangan adalah metode Borda. Ginting [5] menguraikan bahwa pada metode ini, pasangan anak timbangan standar – anak timbangan tara dan anak timbangan uji – anak timbangan tara ditimbang pada neraca secara bergantian dalam pola *Standard Test Test Standard* (STTS). Sebelum dilakukan pengujian, nilai skala neraca ditentukan terlebih dahulu dengan menaikkan anak timbangan pada kedua piring neraca, lalu neraca diangkat dan diberi sedikit gaya luar, kemudian kesetimbangan simpangan neraca (T) sebelum penambahan imbuh (T1) ditentukan dari lima kali titik balik jarum penunjuk skala neraca. Nilai T dihitung dengan rumus $T = (2a_1 + 3a_2 + 2a_3 + 3a_4 + 2a_5) / 12$ di mana a_1 sampai dengan a_5 merupakan simpangan jarum skala neraca (Gambar 6(a)). Selanjutnya neraca diturunkan dan ditambahkan imbuh (ΔG) pada salah satu muatan agar dapat menyebabkan sedikitnya pergerakan 4 skala [9], lalu neraca tersebut diangkat dan diberi sedikit gaya dan sebanyak lima titik balik jarum neraca dibaca untuk penentuan kesetimbangan simpangan jarum skala neraca setelah ditambahkan imbuh (T2). Nilai skala (μ) kemudian dihitung dengan rumus $\mu = \Delta G / |T_2 - T_1|$. Nilai skala hasil pembacaan visual dan hasil pembacaan dengan prototipe alat pembaca dibandingkan.

Selanjutnya, pengujian anak timbangan dengan metode Borda dilakukan dengan menaikkan anak timbangan standar dan tara pada piringan sebelah kiri dan kanan, lalu neraca diangkat dan diberi sedikit gaya, lalu lima titik kesetimbangan dibaca dan neraca diturunkan (Proses *Standard*). Selanjutnya proses *Test* dilakukan dengan menaikkan alat timbangan uji dan tara pada piringan neraca di sebelah kiri dan kanan, lalu neraca diangkat dan diberi sedikit gaya, kemudian lima titik kesetimbangan dibaca dan neraca diturunkan. Proses *Test* dilakukan satu kali lagi disambung dengan proses *Standard* sehingga dapat melengkapi satu siklus STTS. Penempatan anak timbangan standar atau uji dan tara pada metode Borda ditunjukkan pada Gambar 6(b). Anak timbangan yang diuji adalah anak timbangan kelas M1 dengan massa nominal 1000 g, 500 g, dan 200 g, sedangkan anak timbangan standarnya dan tara adalah anak timbangan kelas F2 dengan massa nominal yang sama. Untuk setiap massa nominal, siklus STTS dilakukan sebanyak dua kali sesuai dengan Keputusan Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri [2].



Gambar 6. Simpangan neraca (6(a)) dan metode Borda (6(b)).

Selanjutnya, massa anak timbangan uji dan status sah atau batalnya penggunaan anak timbangan tersebut dapat ditentukan dengan metode Borda seperti dijelaskan oleh Ginting [5]. Massa anak timbangan uji (m_c) dihitung dari rumus $m_c = m_s + \Delta m$, di mana m_s adalah massa anak timbangan standar yang didapatkan dari sertifikat, dan $\Delta m = (\Delta m_1 + \Delta m_2) / 2$. Nilai Δm_1 dan Δm_2 merupakan selisih massa antara anak timbangan uji dengan tara (nilai m_1 dan m_2) dan selisih

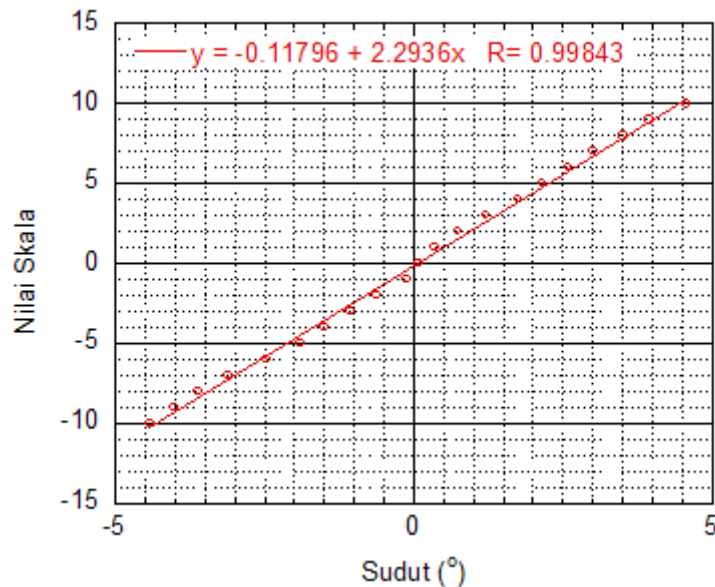
anak timbangan standar dengan tara (nilai s_1 dan s_2) pada seri 1 dan seri 2 dari siklus STTS yang telah dilakukan, sehingga nilai Δm_1 atau Δm_2 dihitung dengan $\Delta m_1 = ((m_1+m_2)/2) - (s_1+s_2)/2$. Sebelumnya, nilai s_1 , m_1 , m_2 , dan s_2 masing-masing dihitung dari perkalian kesetimbangan simpangan neraca (T) dengan nilai skala (μ) atau dengan rumus $T \times \mu$, di mana nilai T dan μ didapatkan dari pembacaan visual dan dari prototipe alat pembaca skala dari simpangan jarum neraca skala. Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri [2] telah menetapkan nilai kesalahan (E) yang dapat dihitung dari rumus $E = m_c - m_s$, di mana m_c adalah massa konvensional anak timbangan uji dan m_s adalah massa konvensional anak timbangan standar. Apabila nilai kesalahannya lebih kecil daripada nilai kesalahan maksimum yang diizinkan, maka anak timbangan uji tersebut sah untuk digunakan dalam transaksi perdagangan.

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil perancangan prototipe alat pembaca jarum skala neraca ditunjukkan pada Gambar 5(b). melalui sensor MPU 6050, alat ini mampu untuk mengukur sudut yang terbaca pada sumbu x, y, dan z dengan menggabungkan data dari *accelerometer* dan *gyroscope* mirip dengan yang dijelaskan oleh Bhuyan [8]. Sudut yang terdeteksi merupakan sudut yang dihasilkan dari gerakan simpangan jarum penunjuk skala neraca. Hal pertama yang dilakukan adalah membuktikan bahwa nilai nol pada skala neraca adalah 0° dengan cara mengkalibrasi prototipe alat pembaca skala dan *setting* nol pada neraca. Hasilnya terdapat pada Gambar 5(b) di mana posisi jarum neraca tepat menunjukkan posisi nol setelah dipasang prototipe alat pembaca jarum skala neraca pada titik tengah lengan neraca. Dengan posisi yang telah seimbang tersebut, maka pengujian untuk mengetahui hubungan antara skala simpangan neraca dengan sudut yang dihasilkan dapat dilakukan dengan akurat. Tabel 1 menampilkan nilai sudut dari simpangan jarum penunjuk skala neraca pada daerah skala negatif (nilai skala -10 hingga skala 0) dan daerah skala positif (nilai skala 0 hingga 10).

Tabel 1. Hasil pengukuran sudut pada berbagai nilai skala neraca

Daerah Skala Negatif		Daerah Skala Positif	
Skala	Sudut ($^\circ$)	Skala	Sudut ($^\circ$)
-10	-4.42	0	0.09
-9	-4.01	1	0.35
-8	-3.62	2	0.74
-7	-3.10	3	1.20
-6	-2.47	4	1.74
-5	-1.90	5	2.15
-4	-1.50	6	2.59
-3	-1.05	7	3.01
-2	-0.62	8	3.51
-1	-0.11	9	3.94
0	0.09	10	4.56



Gambar 7. Grafik kalibrasi sudut terhadap skala

Agar mikrokontroler dapat mengolah data sudut menjadi nilai skala, maka nilai data skala – sudut pada Tabel 1 diolah menjadi grafik nilai skala terhadap sudut seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pada gambar tersebut dapat dilihat persamaan garis kurva kalibrasi antara sudut dan skala yang menunjukkan korelasi linear positif, di mana semakin jauh simpangan jarum penunjuk skala neraca maka sudut yang dideteksi akan semakin besar, baik pada daerah skala negatif maupun positif. Dengan mengambil skala 0 sebagai referensi sudut 0° , gambar tersebut menunjukkan sudut yang semakin positif pada saat skala bergerak ke kanan dari skala 0 ke skala 10 dan sudut yang semakin negatif pada saat skala bergerak ke kiri dari skala 0 ke skala -10. Persamaan garis yang dihasilkan adalah $Y = -0.11796 + 2.2936x$ dan memiliki nilai koefisien relasi regresi linier (R) sebesar 0.99843, di mana Ahmad [10] menyatakan bahwa nilai R antara +0.8 hingga +1.0 menunjukkan korelasi yang kuat antara variabel X dan Y. Dengan demikian, korelasi antara sudut dan nilai skala yang dideteksi dari sensor tersebut adalah korelasi linier yang kuat. Selanjutnya, persamaan garis tersebut dimasukkan ke dalam *coding* pemrograman Arduino Uno R3 agar input sudut dari sensor MPU 6050 dapat dikonversi menjadi nilai skala yang akan ditampilkan pada layar *LCD*. Contoh hasil pengukuran simpangan jarum penunjuk skala neraca ditunjukkan pada Gambar 8 berikut. Pada gambar tersebut, hasil pembacaan posisi jarum oleh sensor ditampilkan di layar *LCD* sebesar 0.212 telah mendekati nilai skala hasil pengamatan visual di sekitar skala 0.



Gambar 8. Hasil pengamatan posisi jarum secara visual (kiri) dan pembacaan sensor (kanan)

Dengan konsistennya hasil pengamatan visual dan sensor, selanjutnya neraca yang telah dipasang prototipe alat pembaca jarum penunjuk skala dapat digunakan untuk pengujian anak timbangan. Hasil pertama adalah hasil pengujian nilai skala neraca yang merupakan besarnya massa imbuh yang dibutuhkan untuk memindah jarum satu mata skala. Dengan nilai skala, nilai kesetimbangan skala neraca (T) dapat diubah menjadi nilai massa yang merupakan selisih massa antara massa benda di piringan kanan dan piringan kiri, di mana untuk metode Borda, anak timbangan uji atau standar ditempatkan di piringan kiri sedangkan tara ditempatkan di piringan sebelah kanan seperti dijelaskan oleh Ginting [5]. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian nilai skala yang diukur sensor dan dibaca manual secara visual yang dibaca langsung dari pergerakan jarum penunjuk skala neraca secara bersamaan untuk anak timbangan 1000 gram.

Tabel 2. Hasil pengujian nilai skala anak timbangan 1000 gram

Muatan (1000 g)	Imbuh (ΔG) g	Titik Balik					Titik Kesetimbangan T (g)		Nilai Mutlak $ T_2 - T_1 $ (g)	Nilai Skala (g/skala)
		a1	a2	a3	a1	a1				
Sensor	Tanpa Imbuh	3.50	-3.70	0.89	-2.30	-0.06	T1	-0.78	2.44	0.04
	Imbuh: 0.1 g	7.12	-2.32	3.47	0.40	2.27	T2	1.66		
Manual	Tanpa Imbuh	3	-3	1	-2	0	T1	-0.58	2.42	0.04
	Imbuh: 0.1 g	7	-2	4	0	3	T2	1.83		

Tabel 3. Hasil pengujian nilai skala pada anak timbangan 200 g, 500 g, dan 1000 g

Muatan (g)	Nilai Skala (g/skala)	
	Sensor	Manual
1000	0.04	0.04
500	0.09	0.09
200	0.04	0.05

Untuk anak timbangan 1000 gram, data titik balik pada Tabel 2 menunjukkan titik balik hasil sensor mendekati hasil manual dengan ketelitian hingga 1/100 kali lebih baik daripada ketelitian pembacaan dengan manual pada semua titik balik dari a1 hingga a5. Sebagai hasilnya, titik kesetimbangan T , nilai mutlak $T_2 - T_1$ dan nilai skala dari hasil pembacaan sensor juga mendekati hasil pembacaan manual. Tabel 3 juga menunjukkan hasil yang mendekati antara hasil pembacaan sensor dan manual pada anak timbangan yang lain yaitu anak timbangan 500 gram dan 200 gram. Dengan nilai skala tersebut, anak timbangan uji kelas M1 dengan kapasitas 1000 gram, 500 gram dan 100 gram diuji dengan anak timbangan standar F2 dengan kapasitas

yang sama menggunakan metode Borda. Dengan cara perhitungan yang dijelaskan oleh Ginting [5], hasil perhitungan massa konvensional dari tiga anak timbangan uji tersebut yang diukur dengan sensor dan manual dirangkum pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil pengujian anak timbangan 200 g, 500 g dan 1000 g

AT Standar	AT Uji		Kesalahan (g)		Selisih (Manual - Sensor) (g)	BKD (g)
	Massa Konvensional Cara Manual (g)	Massa Konvensional Dengan Sensor (g)	Manual	Sensor		
1000.0018	1000.0328	1000.0181	-0.0312	-0.0161	-0.0152	± 0.05
	1000.0365	1000.0271	-0.0351	-0.0252	-0.0095	± 0.05
	1000.0322	1000.0363	-0.0275	-0.0348	0.0038	± 0.05
	Rata - Rata		-0.0321	-0.0253	-0.0067	± 0.05
500.0008	499.9851	499.9765	0.0108	0.0210	-0.0086	± 0.025
	500.0178	500.0234	-0.0169	-0.0194	0.0023	± 0.025
	500.0216	500.0238	-0.0223	-0.0243	-0.0024	± 0.025
	Rata - Rata		-0.0091	-0.0071	-0.0018	± 0.025
200.00024	199.9862	199.9908	0.0103	0.0089	0.0012	± 0.01
	200.0143	200.0068	-0.0101	-0.0072	-0.0027	± 0.01
	200.0121	200.0042	-0.0122	-0.0043	-0.0082	± 0.01
	Rata - Rata		-0.0038	-0.0004	-0.0033	± 0.01

Dari data massa konvensional anak timbangan standar pada Tabel 4, nilai kesalahan atau *error* dari setiap anak timbangan uji dapat ditentukan. Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri [2] berdasarkan Rekomendasi dari OIML [11] menjelaskan bahwa nilai *error* ditentukan dari selisih antara nilai massa konvensional anak timbangan uji dan anak timbangan standar, dan anak timbangan dapat digunakan untuk keperluan metrologi legal termasuk transaksi perdagangan apabila nilai *error*-nya tidak melebihi kesalahan maksimum yang ditetapkan oleh regulasi nasional. Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan *error* untuk anak timbangan uji 1000 gram, 500 gram dan 200 gram dari hasil pengukuran sensor mendekati hasil manual dengan rentang 0.0012 gram hingga -0.0152 gram. Nilai *error* rata-rata yang didapat dari hasil pengukuran sensor berada pada rentang -0.0004 gram hingga -0.0253 gram yang lebih kecil dari hasil manual pada rentang -0.0038 gram hingga -0.0321 gram. Hasil ini lebih baik dibandingkan dengan nilai *error* hasil pada studi sebelumnya sebesar 0.55155 gram yang didapatkan oleh Ginting [5]. Nilai *error* dari pengukuran sensor juga masih di bawah nilai kesalahan maksimum yang diperbolehkan secara nasional, sehingga anak timbangan uji tersebut sah untuk digunakan dalam transaksi perdagangan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor lebih teliti dibandingkan dengan hasil manual. Hal ini tidak terlepas dari hasil pengukuran simpangan jarum skala penunjuk skala yang lebih akurat dan terlindung dari gangguan. Ginting [5] menyarankan agar sensor terlindung dari gangguan sekitarnya termasuk gangguan induksi medan magnetik dari bahan besi di sekitar sensor. Gao [12] menjelaskan bahwa plastik adalah bahan diamagnetik yang dapat mengurangi efek medan magnet. Pada studi ini, pelindung sensor tersebut dibuat dari bahan plastik yang bersifat diamagnetik.

4 Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan, pembuatan dan implementasi prototipe alat pembaca jarum penunjuk skala neraca pada pengujian anak timbangan, maka pada studi ini dapat ditunjukkan penambahan pelindung berupa dudukan sensor pada prototipe tersebut dapat meningkatkan akurasi pengukuran nilai skala pada saat pengujian anak timbangan. Dengan ketelitian pembacaan skala hingga 1/100 kali dibandingkan pengamatan manual, prototipe alat tersebut dapat menghasilkan pengukuran yang lebih akurat dengan penurunan nilai *error* rata-rata hingga rentang -0.0004 gram hingga -0.0253 gram dibandingkan dengan nilai *error* rata-rata hasil pengukuran manual pada rentang -0.0038 gram hingga -0.0321 gram pada pengujian anak timbangan M1 200 gram, 500 gram, dan 1000 gram oleh anak timbangan standar F2.

Referensi

- [1] Marliani, R.S. *Penerapan Ukuran Massa: Timbangan Non Otomatis*, Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Kemetrolagian, 2014.
- [2] Direktur Jenderal, *Keputusan Direktur Jenderal Perdagangan dalam Negeri Nomor 40/PDN/KEP/03/2010 tentang Syarat Teknis Timbangan Ketelitian Biasa dan Khusus*, 2010.
- [3] Setiawan, A. W., Rizalputri, L. N., Thias, A. H., *Pengembangan Alat Bantu Komunikasi Penderita Pascastroke Menggunakan Flex Sensor and Accelerometer*, Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK), vol. 6, no. 2, pp. 129-134, 2019.
- [4] Tripathi, V., Bansal, A., Gupta, R., *Development of Self-stabilizing Platform Using MPU-6050 as IMU*, Advances in Signal Processing and Communication: Select Proceedings of ICSC 2018, B. S. Rawal et. Al. (eds), Springer Nature Singapore Pte Ltd., pp. 373-382, 2019
- [5] Ginting, S. M. R., *Perancangan Alat Pembaca Simpangan Skala Neraca secara Digital dengan Sensor Gyroscope untuk Pengujian AT Menggunakan Metode Borda*, Universitas Sumatera Utara, 2017.
- [6] Malthotra, M., Mittal, R., Jain, M., A Gesture Controlled and Cost Effective – Home Automation System, International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, vol. 5, pp. 1033-1098, 2019.
- [7] (2019, January 30), Saddam, *MPU-6050 Gyro Sensor Interfacing with Arduino*, <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/mpu6050-gyro-sensor-interfacing-with-arduino>, Saddam.
- [8] Bhuyan, A. I., Mallick, T. C., *Gyro-Accelerometer based control of a robotic Arm using AVR Microcontroller*, The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST), pp. 409-413, 2014.
- [9] National Institute of Standard and Technology, *Weighing by Double Substitution Using an Equal-Arm Balance*, NIST SOP No. 3, 1986.
- [10] Ahamad, K. U., Raj, P. Barbhuiya, N. H., Deep, A., *Surface Water Quality Modelling by Regression Analysis and Artificial Neural Network*, Advances in Waste Management, pp. 215-230, (2018).
- [11] Organisation Internationale de Metrologie Legale (OIML), *Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 and M3*, International Recommendation, OIML R 111-1, 2004.
- [12] Gao, Q., Zhang, W., Zou, H., Li, W., Yan, H., Peng, Z., Meng, G. *Label-free Manipulation via Magneto-Archimedes Effect: Fundamentals, Methodology and Applications*, Material Horizons, (DOI:10.1039/C8MH01616J), 2019.

Acknowledgement

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim dari Workshop Teknik Fisika ITB yang telah membantu dalam proses pembuatan prototipe dan Pusat Pengembangan Sumber Daya Kemetrolgian (PPSDK) Kementerian Perdagangan yang telah memfasilitasi pengujian prototipe di laboratorium massa.