

Desain dan Realisasi Alat Ukur Massa (Neraca Digital) Menggunakan *Sensor Load Cell* Berbasis Arduino

Aditia Saputra^{(a)*}, Junaidi^(b), Amir Supriyanto^(c) dan Arif Surtono^(d)

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141
Email :^(a*) adityasapoetra1708@gmail.com, ^(b) junaidi.1982@fmipa.unila.ac.id,
^(c) amir.supriyanto@fmipa.unila.ac.id, ^(d) arif.surtono@fmipa.unila.ac.id

Diterima (24 September 2019), Direvisi (30 Juni 2022)

Abstract. Research on the design and realization of mass measurement devices (digital scale) arduino-based using load cell sensors. The research phase includes hardware design, software design, tool testing, and results analysis. This research uses a low capacity load cell sensor that has a high level of sensitivity to measure the mass of small charged objects, the HX711 module as an analog-to-digital-converter (ADC) of a load cell sensor, graphic display ERM19264 to display the measurement results with display settings that are can be adjusted, and Arduino Mega to process the sensor readings and control the output display on the ERM19264 graphic display. The testing tools carried out includes linearity, repetition/precision, accuracy, and stability. The test results obtained value of an average error of $\pm 0,014$ gram with a precision of 99,989% and an average accuracy of 99,259%. The results of this research instrument have a level of accuracy of the mass reading of 0,001 gram.

Keyword : digital scale, load cell, arduino, ADC, sensor

Abstrak. Telah dilakukan penelitian desain dan realisasi alat ukur massa (neraca digital) menggunakan sensor *load cell* berbasis arduino. Tahap penelitian meliputi perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, pengujian alat, dan analisis hasil. Penelitian ini menggunakan sensor *low capacity load cell* yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi untuk mengukur massa benda bermuatan kecil, modul HX711 sebagai *analog-to-digital-converter* (ADC) dari sensor *load cell*, *graphic display* ERM19264 untuk menampilkan hasil pengukuran dengan pengaturan tampilan yang dapat disesuaikan, dan Arduino Mega untuk mengolah hasil pembacaan sensor dan mengontrol tampilan keluaran pada layar *graphic display* ERM19264. Pengujian alat yang dilakukan meliputi linieritas, pengulangan/presisi, akurasi, dan stabilitas. Hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata ralat sebesar $\pm 0,014$ gram dengan presisi sebesar 99,989% dan rata-rata akurasi sebesar 99,259%. Instrumen hasil penelitian ini memiliki tingkat ketelitian pembacaan massa sebesar 0,001 gram.

Kata kunci : neraca digital, load cell, arduino, ADC, sensor

PENDAHULUAN

Massa dalam fisika merupakan kuantitas materi di dalam benda terlepas dari volume atau kekuatan apapun yang bekerja padanya. Makin besar nilai massa sebuah benda, makin besar nilai berat benda tersebut. Massa benda biasanya diukur menggunakan neraca atau timbangan.

Untuk benda berukuran relatif kecil biasa diukur menggunakan spektrometer massa. Ada beberapa jenis neraca, antara lain, neraca Ohaus, neraca lengan, neraca pasar, neraca tekan, neraca badan, dan neraca digital. Setiap neraca memiliki spesifikasi penggunaan yang berbeda-beda. Neraca terbagi menjadi beberapa jenis yaitu neraca pegas, neraca duduk, neraca gantung, dan

neraca lantai. Selain itu, ada juga neraca analog yang menggunakan anak timbangan sebagai perbandingan massa. Neraca digital pada umumnya menggunakan *Liquid Crystal Display* (LCD) atau *seven segment* untuk menampilkan hasil pengukuran. Kedua jenis neraca ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan yang dimiliki neraca analog adalah dapat menimbang dalam jumlah banyak, harganya murah (*low cost*), tahan terhadap korosi dan benturan. Kekurangan yang dimiliki neraca analog adalah ukurannya kurang fleksibel, tidak terlalu akurat, dan sensitivitasnya tidak terlalu tinggi. Kelebihan yang dimiliki neraca digital adalah ukurannya lebih fleksibel, akurasi tinggi, dan sensitivitas tinggi (orde mili gram). Kekurangan yang dimiliki neraca digital adalah harganya lebih mahal (*high cost*), membutuhkan sumber energi listrik, rawan terhadap korosi dan benturan [1]. Neraca digital mempunyai tingkat kepresisian yang lebih baik dan pengoperasian yang lebih efisien [2].

Neraca digital merupakan alat yang sering ada dalam laboratorium yang digunakan untuk menimbang bahan yang akan digunakan. Neraca digital berfungsi untuk membantu mengukur berat serta cara kalkulasi secara otomatis harganya dengan harga dasar satuan banyak kurang [3].

Load cell adalah sebuah sensor yang memiliki tingkat presisi relatif tinggi yang mampu mengubah tekanan menjadi menjadi sinyal elektrik. Sebuah tingkat keakuratan/ kepresisian pembacaan dari sensor *load cell* tidak lepas dari pengaruh komponen elektronik dan desain mekanik, dimana komponen elektronik digunakan sebagai pengendali dan pengkalkulasi pembacaan dari sensor [4].

HX711 adalah modul timbangan yang memiliki prinsip kerja mengonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengkonversinya ke yang ada. HX711 presisi 24-bit *analog-to-digital converter* (ADC) yang di desain untuk

sensor timbangan digital (*weight scales*) dan industrial control aplikasi yang terkoneksi dengan sensor jembatan (*bridge sensor*). Modul melakukan komunikasi dengan komputer/mikrokontroler melalui TTL [5].

Arduino® Mega 2560 *board* adalah sirkuit cetak yang memungkinkan penggunaan mikrokontroler ATmega2560 16AU. Mikrokontroler ini mengontrol 54 pin Input / Output digital, 15 pin modulasi lebar-pulsa, 16 pin analog, dan mampu mengotomatiskan sistem apa pun. *Software* pemrograman didasari pada bahasa C/C++; oleh karena itu program Java dapat digunakan, memungkinkan untuk membuat fungsi sederhana dengan cepat dan mudah [6].

Kelebihan Arduino diantaranya adalah tidak perlu perangkat *chip programmer* karena di dalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani *upload* program dari komputer. Arduino sudah memiliki sarana komunikasi USB, sehingga pengguna laptop yang tidak memiliki *port serial* /RS323 bisa menggunakannya. Bahasa pemrograman relatif mudah karena *software* Arduino dilengkapi dengan kumpulan *library* yang cukup lengkap, dan Arduino memiliki modul siap pakai yang bisa ditancapkan pada *board* Arduino. Misalnya *shield* GPS, *Ethernet*, SD Card, dan lain-lain [7].

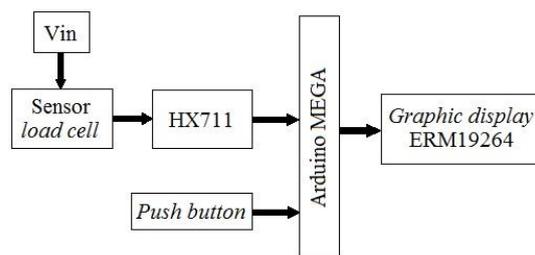
Perangkat *Graphic display* ERM19264 menggunakan ukuran layar 192x64 piksel dengan manajemen pengontrol *software* Arduino ks0108. Untuk tampilan layar dibagi menjadi tiga daerah dengan ukuran 64x64 untuk setiap daerah bertanggung jawab atas pengontrolnya. Pemilihan pengontrol dilakukan dengan menerapkan level logika ke *output* CS1, CS2 atau CS3. Dengan demikian, dimungkinkan untuk menulis ke dalam tiga chip sekaligus [8].

Dari paparan diatas permasalahan-permasalahan yang ada pada neraca digital yaitu harganya masih mahal untuk neraca

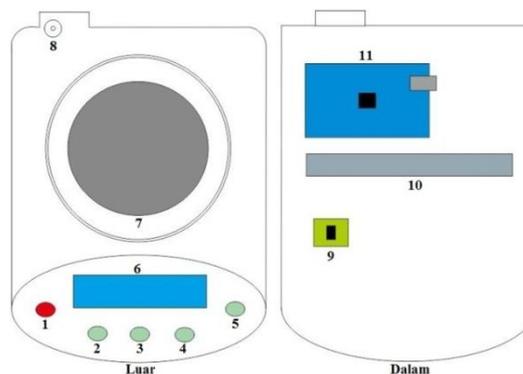
digital dengan sensitivitas tinggi dan resolusi tinggi. Alat yang dirancang akan menggunakan sensor *load cell* dengan kapaitas pengukuran maksimum 300 gram. alat ukur massa (neraca digital) ini menggunakan Arduino MEGA untuk mengolah data pengukuran sensor dan akan menggunakan *graphic display* ERM19264 untuk menampilkan hasil pengukuran. Pada sistem yang akan dipasang untuk mengukur massa dengan ketelitian 0,001 gram.

METODE PENELITIAN

Langkah Pertama: Perancangan perangkat keras merupakan tahap penyusunan komponen-komponen elektronika menjadi satu kesatuan sistem agar dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Perancangan ini dilakukan sebelum realisasi ke perangkat keras neraca digital. Pada **Gambar 1** merupakan blok diagram perancangan perangkat keras neraca digital yang terdiri dari Arduino Mega, catu daya, sensor *load cell*, modul HX711, *graphic display* ERM19264, dan *push button*. Sensor *load cell* terlebih dahulu dihubungkan dengan modul HX711 untuk mengkonversi data *analog* dari sensor *load cell* menjadi data digital [9], kemudian modul HX711 dihubungkan ke Arduino Mega. Arduino Mega digunakan untuk mengolah data berdasarkan massa benda yang terbaca oleh sensor *load cell*. Selanjutnya *Graphic display* ERM19264 dihubungkan ke Arduino Mega untuk menampilkan hasil pembacaan dari sensor *load cell*. *Push button* dengan fungsi *switching* dihubungkan ke Vcc pada *graphic display* ERM19264 yang berfungsi



Gambar 1. Blok diagram perancangan perangkat keras



Gambar 2. Desain neraca digital

Keterangan:

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Tombol <i>on/off</i> | 7. Tempat sampel |
| 2. Tombol <i>unit</i> | 8. Kalibrator posisi |
| 3. Tombol <i>save</i> | 9. Modul HX711 |
| 4. Tombol <i>switch</i> | 10. Sensor <i>load cell</i> |
| 5. Tombol <i>tare/zero</i> | 11. Arduino MEGA |
| 6. <i>Graphic display</i> ERM19264 | |

untuk memutus tegangan dan *push button* dengan fungsi *knob* dihubungkan ke Arduino Mega. Berikut ini merupakan desain neraca digital yang diperlihatkan pada **Gambar 2**.

Langkah Kedua: Perancangan perangkat lunak dibuat dengan aplikasi Arduino IDE. Aplikasi Arduino IDE berfungsi untuk membuat dan mengolah program yang akan dimasukkan ke *board* Arduino Mega. Program tersebut berisikan perintah untuk menjalankan fungsi dari rangkaian pengendali. Program pengendali berisikan tiga perintah. Perintah yang dijalankan pertama adalah melakukan pembacaan data pengukuran sesuai dengan massa yang digunakan. Kemudian, perintah kedua adalah menampilkan hasil pe

ngukuran melalui *graphic display* ERM19264. Perintah ketiga adalah menerapkan fungsi pada *push button* untuk keperluan pengukuran massa.

Dari data hasil pengukuran dilakukanlah pengujian sebagai berikut: karakterisasi sensor, tingkat kesalahan, persentase tingkat presisi/*repeatability*, kalibrasi alat, perubahan pengukuran massa terhadap posisi benda pada tempat sampel, dan tingkat *stability*/stabilitas.

Data hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung nilai ralat, persentase tingkat presisi/koeffisien variasi (KV), dan akurasi hasil pengukuran neraca yang dibuat menggunakan **Persamaan 2-4**.

$$\Delta x = \sqrt{\frac{nx_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i}{n(n-1)}} \quad (1)$$

$$x = (\bar{x}_n \pm \Delta x) \quad (2)$$

$$KV(\%) = 100 - \left(\frac{x}{\bar{x}_n} \times 100\% \right) \quad (3)$$

$$\% \text{ akurasi} = \left(1 - \left| \frac{Y - \bar{x}_n}{Y} \right| \right) \times 100\% \quad (4)$$

dengan:

Δx = Standard Deviasi;

n = Jumlah sampel;

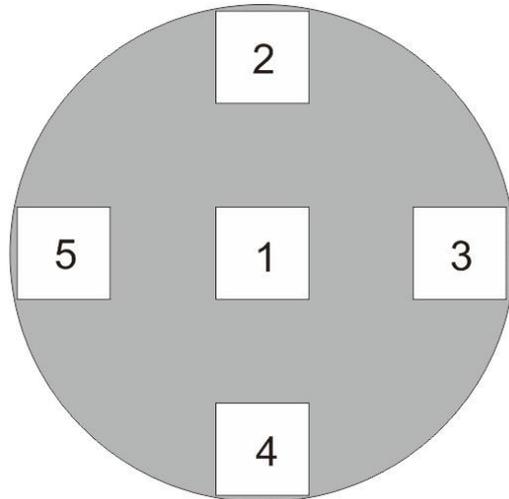
x = Nilai ralat pengukuran;

KV = Koeffisien Variasi.

Y = Massa hasil pengukuran alat kalibrator; dan

\bar{x}_n = Rata-rata massa hasil pengukuran

Data pengujian perubahan pengukuran massa terhadap posisi benda pada tempat sampel dilakukan dengan menempatkan massa benda seperti pada **Gambar 3**, dan pengujian tingkat *stability*/stabilitas dilakukan dengan mengukur massa benda dan mencatat perubahan massa setiap 10 menit selama satu jam dalam satu kali pengukuran.



Gambar 3. Posisi sampel/beban pada tempat sampel

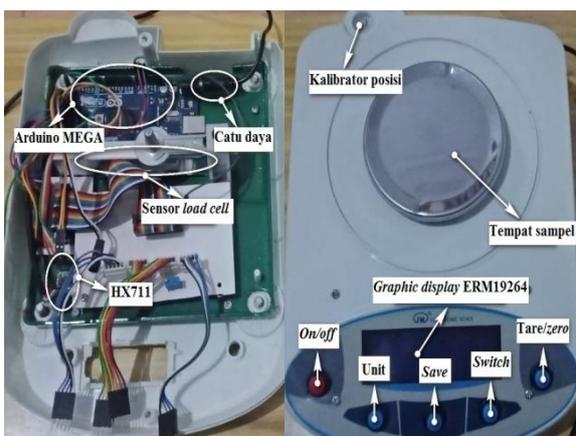
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dari neraca digital ini menggunakan *casing* neraca digital yang sudah tidak terpakai. Berikut ini merupakan realisasi alat dari neraca digital yang telah dibuat ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Gambar 4(a) menunjukkan bagian dalam neraca digital. Pada pembuatannya Arduino Mega dihubungkan dengan catu daya untuk memberikan tegangan dalam mengoperasikan Arduino Mega. Arduino Mega digunakan sebagai pengontrol utama dari neraca digital. **Gambar 4(b)** menunjukkan tampilan luar neraca digital. Pada tampilan luar neraca digital memiliki kalibrator posisi, tempat sampel, *push button*, dan *graphic display* ERM19264.

Sensor load cell yang digunakan memiliki batas minimum pengukuran massa (m_{\min}) sebesar 0 gram dan batas maksimum pengukuran massa (m_{\max}) sebesar 300 gram, sehingga neraca digital yang dibuat memiliki *range*/batas pengukuran sebesar 0-300 gram. *Graphic*



Gambar 4. Tampilan (a) bagian dalam dan (b) depan neraca digital

display ERM19264 menampilkan hasil pengukuran berupa nilai massa beserta satuannya. Neraca digital ini juga memiliki *push button* dengan beragam fungsi diantaranya *on/off*, mengonversi satuan (*unit*), menyimpan hasil pengukuran (*save*), memanggil data yang tersimpan (*switch*), dan mereset pengukuran (*tare/zero*).

Pembuatan Perangkat Lunak

Pembuatan perangkat lunak dilakukan dengan membuat program menggunakan *sketch* Arduino IDE 1.8.9 yang dibagi menjadi pembacaan sensor, menampilkan hasil pembacaan sensor melalui *graphic display* ERM19264, dan pembuatan fungsi *push button* untuk neraca.

Pengujian alat neraca digital menggunakan sensor *load cell*

Pengujian alat dilakukan untuk karakterisasi sensor dan menentukan nilai presisi/*repeatability*, akurasi, posisi, dan *stability* dari neraca digital yang dibuat. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur beban dengan massa bervariasi yang telah dibuat dari timah.

1. Pengujian karakterisasi sensor *Load Cell*

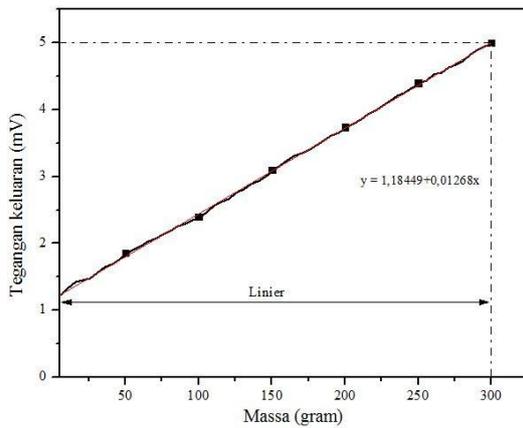
Gambar 5 menunjukkan karakterisasi dari sensor *load cell* yang digunakan terhadap kenaikan massa dari beban.

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan *load cell* ke catu daya, lalu mengukur tegangan dengan multimeter setelah memerikan beban pada sensor *load cell*. Sebelum pengujian terlebih dahulu mengukur besarnya tegangan yang terukur dari tempat sampel pada saat tanpa beban, kemudian dilakukan pengujian menggunakan beban dengan massa 0-300 gram yang memiliki kelipatan 5 gram. Dari pengujian karakterisasi sensor dapat dilihat kenaikan tegangan keluaran untuk range pengukuran massa 0-300 gram menghasilkan grafik kenaikan yang *linier*, sehingga *range* pengukuran yang akan digunakan pada neraca digital sebesar 0-300 gram dan Persamaan linieritas yang diperoleh dari data tersebut ditunjukkan pada Persamaan (5)

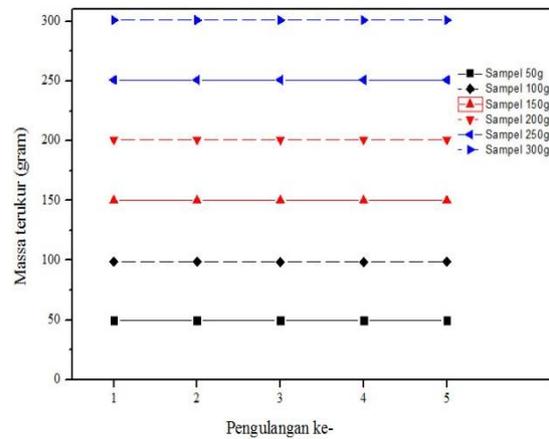
$$y = 1,18449 \pm 0,01268x \tag{5}$$

2. Pengujian tingkat presisi/*repeatability* neraca digital

Gambar 6 menunjukkan grafik pengujian presisi/*repeatability* dari neraca digital. Pada pengujian ini menunjukkan nilai ralat dan tingkat presisi pengukuran massa yang dinyatakan dengan nilai koefisien variasi (KV) dari neraca digital. Pengujian dilakukan dengan mengukur sampel dengan massa 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 gram yang dikenakan lima kali pengulangan untuk setiap sampel. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh data yang dapat dilihat pada **Tabel 1**. Dari data tersebut dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai ralat dan nilai persentase presisi/*repeatability*. Perhitungan nilai ralat dapat menggunakan Persamaan (2).



Gambar 5. Grafik pengujian karakterisasi sensor *load cell*

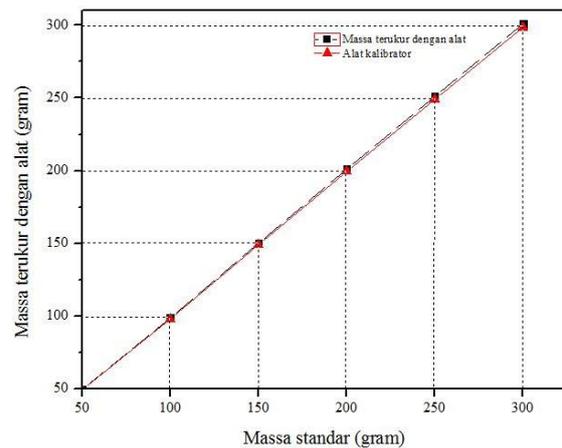


Gambar 6. Grafik pengujian presisi/*repeatability*

Tabel 1. Data pengujian presisi/*repeatability*

Sampel	pengulangan ke-					Ralat	Koefisien variasi (%)
	1 (gram)	2 (gram)	3 (gram)	4 (gram)	5 (gram)		
1	49,453	49,461	49,481	49,450	49,456	0,012	99,975
2	98,676	98,695	98,688	98,675	98,686	0,008	99,991
3	150,116	150,128	150,067	150,092	150,106	0,024	99,984
4	201,065	201,074	201,050	201,079	201,068	0,011	99,995
5	251,032	251,047	251,043	251,028	251,044	0,008	99,997
6	301,018	301,006	300,988	300,968	301,001	0,019	99,994
Nilai rata-rata						0,014	99,989

Hasil perhitungan diperoleh nilai ralat untuk sampel 50 gram sebesar $50,000 \pm 0,012$ gram, 100 gram sebesar $100,000 \pm 0,008$ gram, 150 gram sebesar $150,000 \pm 0,024$ gram, 200 gram sebesar $200,000 \pm 0,011$ gram, 250 gram sebesar $250,000 \pm 0,008$ gram, 300 gram sebesar $300,000 \pm 0,019$ gram, dan diperoleh rata-rata nilai ralat sebesar $\pm 0,014$ gram. Perhitungan presisi dapat menggunakan Persamaan (3). Hasil perhitungan diperoleh nilai KV rata-rata sebesar 0,011%. Ini sesuai dengan pernyataan [10] dimana nilai KV tersebut menunjukkan hasil yang baik, karena semakin kecil nilai KV maka tingkat presisi alat semakin baik.



Gambar 7. Grafik pengujian kalibrasi

3. Pengujian kalibrasi neraca digital

Gambar 7 menunjukkan grafik pengujian kalibrasi dari neraca digital. Pengujian ini dilakukan untuk menunjukkan

nilai persentase tingkat akurasi yang dimiliki neraca digital. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran massa dari beban yang sama menggunakan neraca digital dengan neraca digital yang sudah lulus uji. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh data yang dapat dilihat pada **Tabel 2**. Dari data tersebut dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai persentase tingkat akurasi dan *error*. Perhitungan nilai persentase tingkat akurasi dapat menggunakan Persamaan (4). Hasil perhitungan diperoleh

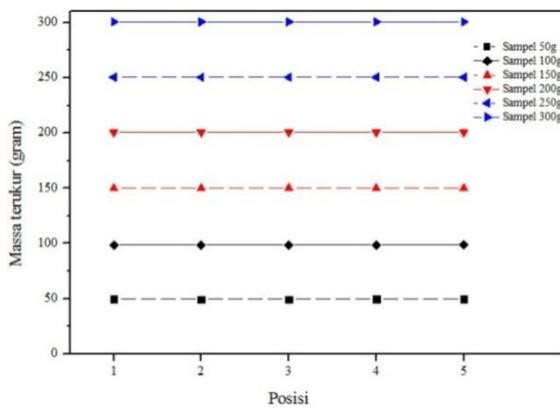
nilai persentase tingkat akurasi rata-rata sebesar 99,259%. Ini sesuai dengan pernyataan [11] dimana nilai akurasi ditentukan dari besarnya penyimpangan data hasil uji dengan harga sesungguhnya. Jika pengukuran dilakukan beberapa kali pengulangan, hasil dari masing-masing pengukuran akan terdistribusi secara *random* di sekitar nilai rata-rata disebabkan kesalahan eksperimen. Jika hasil dari beberapa pengukuran dijumlahkan, masing-masing nilai akan terdistribusi dalam distribusi gaussian.

Tabel 1. Data pengujian kalibrasi

Sampel	Massa terukur (gram)	Alat kalibrator (gram)	Persentase akurasi (%)
1	49,460	49,220	99,512
2	98,684	97,954	99,255
3	150,102	148,973	99,242
4	201,067	199,394	99,161
5	251,039	248,976	99,171
6	300,996	298,641	99,211
Nilai rata-rata			99,259

4. Pengujian keakurasian pengukuran massa pada posisi tempat sampel

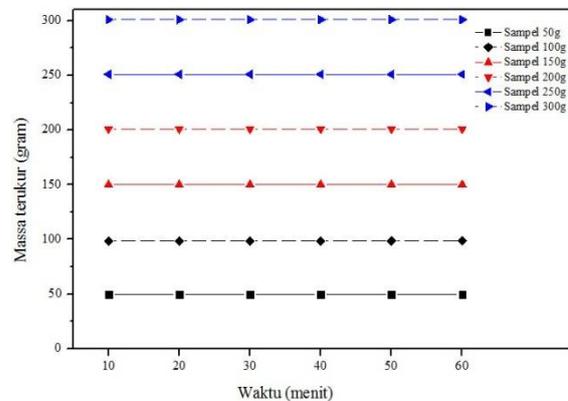
Gambar 8 menunjukkan grafik pengujian keakurasian pengukuran massa dari posisi sampel/benda pada tempat sampel. Pengujian dilakukan dengan mengukur sampel dengan massa 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 gram yang ditempatkan pada posisi yang berbeda seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 8. Grafik pengujian akurasi posisi

5. Pengujian tingkat stabilitas/*stability* neraca digital

Gambar 9 menunjukkan grafik pengujian stabilitas/*stability* pengukuran dari neraca digital yang dibuat. Pengujian dilakukan dengan mengecek stabilitas hasil pembacaan massa setiap 10 menit yang dilakukan selama 60 menit.



Gambar 9. Grafik pengujian stabilitas/ *stability* pengukuran

Prinsip kerja dari neraca digital ini merupakan perpaduan antara perangkat keras dengan perangkat lunak, perangkat keras berguna untuk menerima beban yang di berikan ke *load cell* kemudian mengkondisiikan sinyal keluaran dari *load cell* oleh modul HX711 sehingga terbaca oleh mikrokontroler Arduino Mega. Sedangkan perangkat lunak berfungsi untuk mengolah sinyal yang dikeluarkan oleh sensor *load cell* dan mengirim data untuk dtampilkan pada *graphic display* ERM19264.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan diperoleh bahwa alat ukur massa (neraca digital) menggunakan sensor *load cell* berbasis Arduino telah direalisasikan dan membaca hasil pengukuran massa dengan *range*/batas pengukuran 0-300 gram dengan ketelitian 0,001 gram yang memiliki tingkat persentase akurasi rata-rata sebesar 99,259%, tingkat persentase presisi */repeatability* rata-rata sebesar 99,989% dan nilai ralat/*error* rata-rata sebesar $\pm 0,014$ gram.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Riki, "Perbedaan Timbangan Digital & Manual," 2017. Tersedia pada: <http://mandiri-timbangan.blogspot.com/2017/01/perbedaan-timbangan-digital-manual.html>. [Diakses: 30-Okt-2018].
- [2] I. D. Purnamasari, "Timbangan Digital Berbasis Sensor Flexiforce Dengan Output Suara," *Skripsi*, Universitas Brawijayan, Malang, 2013.
- [3] Mansur, "Timbangan Digital Bizerba," 2010. Tersedia pada: <http://www.bisnis.fenue.com/timbangan-digital-bizerba/> [Diakses: 23-Okt-2018].
- [4] A. L. Khakim, "Rancang Bangun Alat Timbangan Digital Berbasis AVR Tipe ATmega32," *Skripsi*, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2015.
- [5] Rohmadi, "Elektronics, Interfacing and Programming," 2014. Tersedia pada: <http://rohmedi.my.id/2014/10/06/timbangan-5kg-hx711/> [Diakses: 20-Okt-2018].
- [6] T. Besson, D. Debayle, S. Diochot, M. Slinas, E. Liugueglia, "Low cost venom extractor based on Arduino board for electrical venom extraction from arthropods and other small animals," *Toxicon*. vol. 118, hal. 156-161, 2016.
- [7] A. F. Silvia, E. Haritman, dan Y. Muladi, "Rancang Bangun Akses Kontrol Pintu Gerbang Berbasis Arduino dan Android," *Electrans*, vol. 13, no. 1, hal. 1-10, 2014.
- [8] A. Erulanova, N. Mechshmov, A. Alimkhanova, M. Amangeldina, "Design Of An Automatic System Testing Material For Tension," *Ural Symposium on Biomedical Engeneering, Radioelectronic, and Information Technology (USBREIT)*, vol. 18, hal. 183-188, 2018.
- [9] E. F. Yandra., B. P. Lapanporo. dan M. I. Jumarang, "Rancang Bangun Timbangan Digital Berbasis Sensor Beban 5 Kg Menggunakan Mikrokontroler ATmega328," *Positron*, vol. 4, no. 1, hal. 23-28, 2016.
- [10] E. M. Persada, "Presisi dan Akurasi," 2017. Tersedia pada:

<http://www.eralika.com/articel/presisi-dan-akurasi/> [Diakses: 20-Okt-2018].

[11] A. Purwanto, C. Supriyanto., P. Samin.,
“Validasi Pengujian Cr, Cu, dan Pb dengan

Metode Spektrometri Serapan Atom,”
Prosiding PPI-PDIPTN. Yogyakarta:
BATAN, 2007.

