

Neraca dengan Penyeimbang Tarikan Solenoid Linear dan Redefinisi Satuan Kilogram

¹Dudi Adi Firmansyah*), ¹Shely Arindita Pawistri, ¹Muhammad Daffa Kemal Maulana dan ²Suprijanto

¹D3 Metrologi dan Instrumentasi, Akademi Metrologi dan Instrumentasi

²Teknik Fisika FTI Institut Teknologi Bandung

*) dudiadif@akmet.ac.id

Abstrak

Bertepatan dengan Hari Metrologi Dunia pada tanggal 20 Mei 2019, CGPM menetapkan redefinisi satuan besaran massa yang sebelumnya berdasarkan massa dari artefak *International Prototype of Kilogram* menjadi sebuah definisi berdasarkan konstanta Planck $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2\text{s}^{-1}$. Perubahan tersebut direalisasikan dengan Neraca Watt yang dapat memberikan hubungan antara massa, arus listrik, dan konstanta Planck. Pada alat tersebut dilakukan dua tahap percobaan yaitu mode *weighing* dan mode *moving*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan secara sederhana hubungan massa dan arus melalui satu tahap percobaan menggunakan prototipe neraca yang dimodifikasi dengan solenoid linear pada salah satu lengannya sebagai penyeimbangnya. Besarnya arus diatur oleh modul XL4015 dan diukur oleh sensor ACS712 untuk diolah oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada layar LCD. Hasil dari pengujian didapatkan nilai arus pada rentang 0,23 A – 1,06 A dibutuhkan untuk menyeimbangkan muatan mulai dari 0 gram hingga 335 gram. Linearitas dan kepresisian hubungan arus dan massa yang didapat sangat baik yaitu nilai koefisien determinasi 0,99; persen presisi 80,3-94,4%; dan RSD 0,34-1,2%. Dengan demikian, prototipe ini dapat digunakan sebagai representasi Neraca Watt secara sederhana dalam menyatakan kesebandingan massa dan arus listrik.

Kata Kunci: redefinisi satuan besaran massa; konstanta Planck; Neraca Watt, solenoid linear; kesebandingan massa dan arus.

1 Pendahuluan

Hingga tahun 2017, diantara tujuh satuan besaran dasar yaitu meter, kilogram, ampere, kelvin, mol dan candela, hanya satuan kilogram yang masih didefinisikan berdasarkan material atau artefak [1], [2]. Kilogram merupakan satuan massa yang sama dengan massa dari *International Prototype of Kilogram (IPK)*. Meskipun *IPK* sudah sejak tahun 1889 digunakan sebagai standar tertinggi massa, akan tetapi sebagai artefak, *IPK* memiliki keterbatasan yaitu dapat rusak atau bahkan hancur, dapat terkena debu dari lingkungan sekitar, dapat terkena gesekan jika digunakan rutin, hanya dapat digunakan di *BIPM*, dan massanya ternyata mengalami perubahan terhadap standar Pt-Ir lainnya sebesar $50 \mu\text{g}/100$ tahun [1]. Karena berbagai keterbatasan tersebut, sejak tahun 1976 dan mulai intensif pada dekade 1990-an diadakan usaha internasional untuk menghubungkan massa *IPK* dengan suatu konstanta alam atau massa suatu atom dengan ketidakpastian sekitar 10^{-8} [1]–[5].

Hasilnya pada bulan November 2018, CGPM menyetujui redefinisi kilogram sesuai dengan konstanta Planck mulai tanggal 20 Mei 2019 [2]. Untuk merealisasikan hubungan antara konstanta Planck dengan massa *IPK*, *BIPM* dan beberapa laboratorium metrologi di dunia telah mengembangkan Neraca Watt atau Neraca Kibble [2], [5]. Neraca ini membandingkan energi mekanik dan energi listrik secara kuantum dalam dua fasa pengukuran yaitu fasa penimbangan dan fasa gerakan [2], [5]. Pada fasa penimbangan, berat artefak (mg) diseimbangkan dengan gaya elektromagnetik pada kumparan induktif sepanjang L yang membawa arus I di dalam medan magnet dengan densitas flux B . Pada fasa gerakan, kumparan bergerak vertikal dengan kecepatan v melintasi medan magnet yang kemudian menginduksi tegangan U dari kumparan. Jika gaya yang dilepaskan kumparan dan kecepatan kumparan berada sejajar dengan percepatan gravitasi g pada arah vertikal juga, maka dua fasa pengukuran tersebut dapat digambarkan dengan dua persamaan yaitu $mg = I(BL)$ dan $U = v(BL)$. Saat digabungkan dengan asumsi nilai tetap dari BL , maka akan diperoleh kesamaan energi listrik virtual dengan energi mekanik dalam persamaan $mgv = I(BL)$ [2], [5]. Dengan mengukur besaran listrik berdasarkan efek hambatan *Quantum Hall* dan standar tegangan Josephson, Neraca Watt memungkinkan penentuan massa dari artefak dalam ungkapan konstanta Planck menggunakan persamaan $m = h(Cf_1f_2/gv)$ dimana C adalah faktor kalibrasi, f_1 dan f_2 merupakan frekuensi gelombang mikro yang digunakan dalam standar tegangan Josephson [2], [5]. Proses penentuan massa *IPK* tersebut menghasilkan nilai ketidakpastian sebesar $4,9 \cdot 10^{-8}$ yang memenuhi persyaratan *mise en pratique* dari redefinisi kilogram dan persyaratan ketidakpastian dari Rekomendasi OIML R-111 [2], [4], [5].

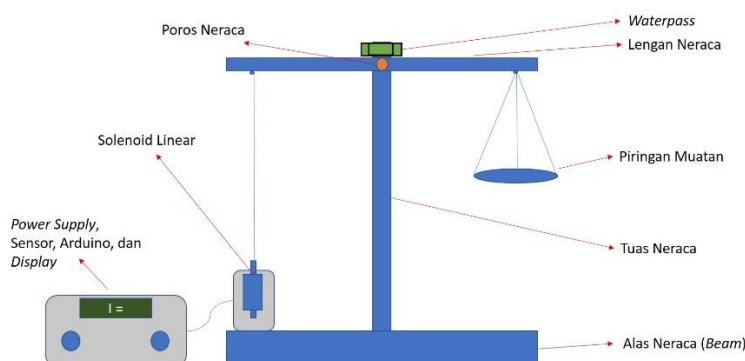
Berdasarkan proses redefinisi kilogram tersebut [1]–[5], terdapat dua tahap untuk merealisasikan hubungan massa, arus dan konstanta Planck dalam percobaan Neraca Watt. Pada penelitian ini, realisasi hubungan massa dan arus listrik dalam satu tahap percobaan akan dipelajari. Hal ini dikarenakan hubungan

kesebandingan antara massa dan arus seperti ditunjukkan pada salah satu tahap Neraca Watt hingga saat ini belum ada perangkat yang dapat merealisasikan hubungan ini dengan cara sederhana [6]–[13]. Sesuai dengan prinsip kerja Neraca Watt, kesebandingan tersebut dicapai melalui keseimbangan gaya berat dan gaya elektromagnetik [2], [5]. Untuk menentukan suatu kesebandingan massa atau gaya berat, alat yang digunakan biasanya dikenal sebagai neraca [10]. Sedangkan untuk membangkitkan gaya elektromagnetik dari arus listrik biasanya digunakan solenoid [8], [9], [11], [12], [14]. Solenoid merupakan aktuator yang dapat menghasilkan gerakan linear setelah diberikan sumber tegangan [8].

Neraca adalah jenis timbangan paling sederhana yang menggunakan satu tuas dengan sumbu atau pisau untuk menumpu lengan neraca di bagian tengah-tengahnya untuk menggantungkan dua piringan muatan untuk benda yang ditimbang dan anak timbangan yang diketahui massanya [10]. Jadi jika terdapat dua benda dengan massa yang sama, maka dua benda tersebut akan ditarik dengan gaya gravitasi sama besar dan neraca akan menunjukkan prosisi seimbang. Teori neraca pada umumnya merupakan dasar untuk pengembangan timbangan mekanik lainnya, terutama untuk timbangan yang prinsip kerjanya menggunakan sifat tuas seperti timbangan seperti timbangan meja dan timbangan sentisimal [10]. Pada studi ini, solenoid akan digunakan untuk menyeimbangkan gaya berat dari benda yang ditimbang pada salah satu lengan neraca untuk menunjukkan kesebandingan gaya berat dari suatu massa dan gaya elektromagnetik dari suatu kuat arus listrik sebagai salah aspek penting dalam Neraca Watt [2], [5]. Kesebandingan tersebut terjadi karena gaya berat dapat diimbangi oleh tarikan dari solenoid saat diberikan arus listrik. Di dalam solenoid terdapat kawat melingkar pada inti besi, ketika arus listrik melalui kawat ini, maka terjadi medan magnet untuk menghasilkan energi yang dapat mendorong inti besi. Poros dalam dari solenoid adalah piston seperti silinder terbuat dari besi atau baja, yang disebut *pluger*, medan magnet kemudian menerapkan kekuatan untuk *pluger* ini, baik menarik atau *replying* (kembali posisi), ketika medan magnet dimatikan, *pluger* kemudian kembali ke posisi semula [8]. Modifikasi tersebut juga merupakan hal yang baru karena selama ini neraca banyak digunakan untuk menguji anak timbangan [7], [10], menimbang [13], dan menguji bejana ukur [15]. Sedangkan studi tentang solenoid hingga saat ini banyak terkait dengan gaya magnet atau medan magnet yang dapat dihasilkan pada suatu kombinasi jumlah lapisan dan jumlah lilitan tertentu [9] dan aplikasi solenoid pada berbagai bidang seperti pembuatan pintu otomatis [8], katup irigasi [6], katup infus [13] dan penghasil medan magnet [16].

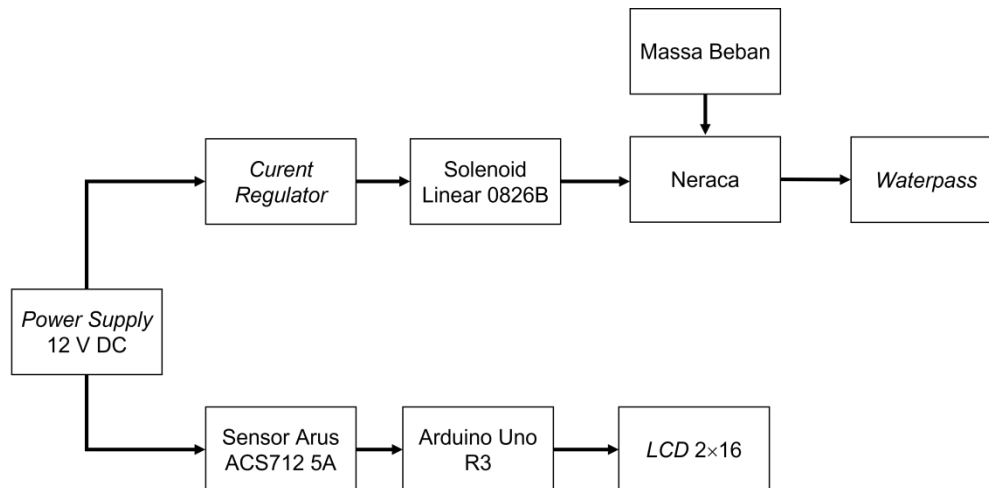
2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap yaitu pembuatan prototipe, kalibrasi prototipe dan penentuan hubungan arus dan massa. Seperti telah dijelaskan pada bagian pendahuluan, prototipe yang dibuat adalah modifikasi neraca dengan penyeimbang oleh solenoid. Tahap pertama, pembuatan prototipe dilakukan membuat konstruksi neraca terbuat dari kayu yang terdiri dari (a) alas neraca (sebagai tempat berdirinya tuas neraca), (b) tuas neraca (sebagai tempat menopang lengan neraca tepat di posisi tengahnya), (c) poros neraca (sebagai penghubung tuas neraca dan lengan neraca di posisi tengahnya agar dapat menunjukkan keseimbangan massa dari beban di lengan kiri dan lengan kanan), (d) piringan neraca (sebagai tempat menyimpan muatan) pada lengan sebelah kanan, (e) *waterpass* (untuk mendeteksi keseimbangan neraca), dan (f) solenoid linear yang terhubung dengan mikrokontroler, sensor arus, layar penampil dan catu daya yang dapat menarik dan menyeimbangkan beban pada piringan muatan. Konstruksi desain prototipe ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan prototipe

Berdasarkan konstruksi tersebut, prototipe ini merupakan suatu neraca yang diseimbangkan dengan solenoid linier tipe 0826B (beban maksimum 20 N). Keseimbangan tersebut ditunjukkan dengan *waterpass* yang terdapat di tengah neraca. Pergerakan dari solenoid diatur dengan *kit regulator* arus dan tegangan, dimana tegangannya telah ditetapkan sebesar 12 V, sehingga kekuatan tarikan solenoid hanya ditentukan oleh besarnya arus. Arus maksimum yang digunakan adalah 5 A dan besarnya arus yang digunakan solenoid diukur dengan sensor ACS712 [17]. Hasil pembacaan arus akan ditampilkan pada layar LCD untuk kemudian dianalisis hubungan antara arus dengan massa pada piringan muatan neraca. Komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan prototipe ini adalah Arduino Uno R2, *power supply* 12 V, *kit regulator* arus dan tegangan (Modul *Current Regulator* XL4015)[18], sensor arus ACS712, solenoid linier, *LCD-I2C*, dan *converter AC/DC* 12 V. Hubungan antar komponen tersebut ditunjukkan pada diagram blok berikut (Gambar 2).



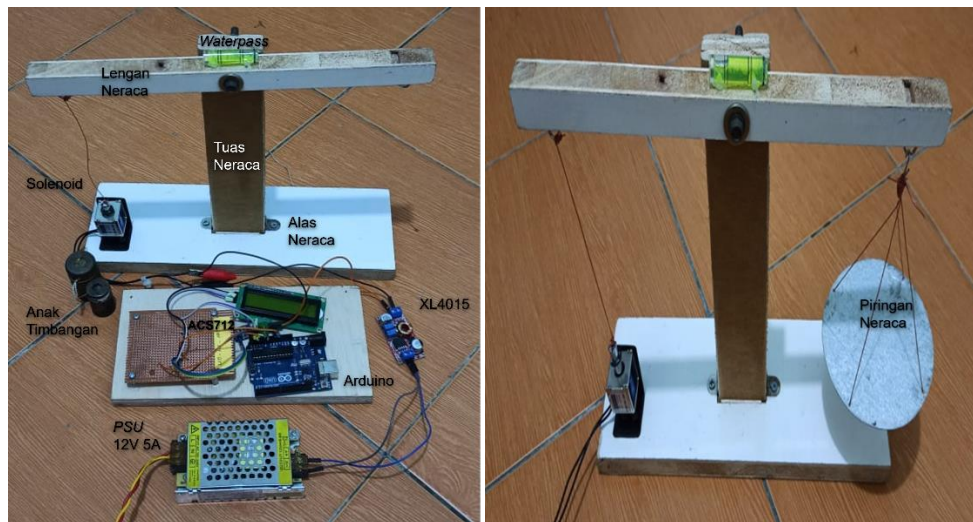
Gambar 2. Diagram blok prototipe

Tahap kedua adalah kalibrasi prototipe yaitu kalibrasi sensor ACS712. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai *error* sensor dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan multimeter komersial. Rangkaiannya dibuat dengan memasang sensor arus dan multimeter secara seri di antara beban dan keluaran positif dari modul regulator arus XL4015. Pengujian ini dilakukan pada rentang 0 A hingga 1 A, dan setiap titik diukur sebanyak 30 kali.

Tahap ketiga adalah penentuan hubungan arus dan massa. Tahap ini diawali dengan penentuan arus pada saat neraca tanpa beban untuk memastikan neraca berada pada kesetimbangan meskipun belum ada beban yang disimpan di atas piringan muatan. Hal ini dikarenakan piringan muatan juga memiliki massa yang dapat mempengaruhi hasil percobaan. Untuk menguji hal tersebut, prototipe dengan piringan muatan kosong dihubungkan dengan catu daya sesuai spesifikasi, lalu arus yang mengalir pada solenoid diatur (dengan trimpot arus setelah tegangan dibuat tetap sebesar 12 V) agar solenoid dapat menyeimbangkan neraca yang teramati dari *waterpass*. Tahap selanjutnya adalah dengan menambahkan satu persatu anak timbangan kelas M3 lalu kemudian dicari arus pada solenoid yang dapat menyeimbangkan muatan pada neraca tersebut. Besarnya nominal arus yang dibutuhkan solenoid untuk menyeimbangkan muatan tersebut lalu dicatat untuk dianalisis. Pengambilan data dilakukan sebanyak 30 kali pada setiap titik uji beban.

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil pembuatan prototipe ditunjukkan pada Gambar 3. Sesuai dengan rancangan pada Gambar 1 dan Gambar 2, Gambar 3 (kiri) menunjukkan prototipe lengkap yang terdiri dari catu daya 12 V 5A, regulator arus XL4015, Arduino Uno R3, *LCD-I2C*, sensor arus ACS712, solenoid, *waterpass*, dan neraca tanpa piring muatan. Sedangkan Gambar 3 (kanan) menunjukkan prototipe dengan piring muatan yang juga menunjukkan contoh pengujian kesetimbangan neraca tanpa ada muatan. Pada gambar tersebut, solenoid tampak menarik lengan neraca untuk menyeimbangkan beban dari piring neraca tanpa muatan.



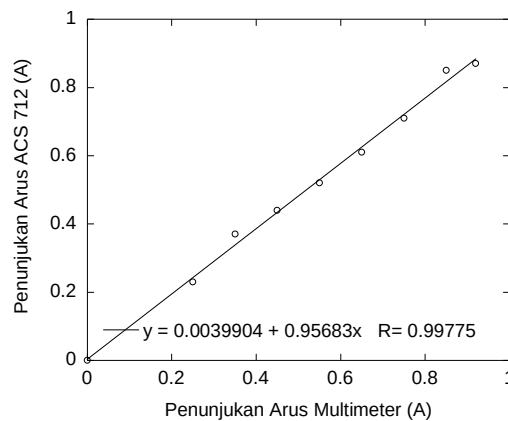
Gambar 3. Hasil pembuatan prototipe: tanpa piring muatan (kiri) dan dengan piring muatan (kanan)

Sebelum pengujian neraca untuk menentukan hubungan massa dan arus, sensor arus ACS712 dikalibrasi. Pada tahap ini, rangkaian sensor dan multimeter komersial dipasang secara seri pada beban yaitu solenoid yang belum dirangkai dengan neraca. Kalibrasi tersebut dilakukan pada 9 (Sembilan) titik pada rentang arus 0,00 A hingga 1,00 A. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1. Pada tiap nominal arus yang diuji merupakan hasil rata-rata yang diambil dari 30 kali percobaan.

Tabel 1. Ringkasan parameter fisik

No	Arus Multimeter (A)	Arus Sensor (A)	Error (A)	Tegangan (mV)
1	0,00	0,00	0,00	2470,21
2	0,25	0,23	-0,02	2542,97
3	0,35	0,37	0,02	2567,71
4	0,45	0,44	-0,01	2583,01
5	0,55	0,52	-0,03	2596,35
6	0,65	0,61	-0,04	2612,79
7	0,75	0,71	-0,04	2632,16
8	0,85	0,85	0,00	2657,06
9	0,92	0,87	-0,05	2660,81

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 1, nilai *error* terbesar terjadi pada nilai arus 0,92 A. Salah satu penyebabnya adalah rentang pembacaan multimeter digital yang lebih cepat yaitu 0,25 ms [19]. Akibatnya pada saat nilai arus sudah berubah pada multimeter, namun pada layar LCD masih belum terjadi perubahan nilai arus, karena jeda pembacaan disetel pada 1000 ms atau 1 detik. Selain itu, nilai arus baik pada multimeter digital maupun sensor ACS712 keduanya bersifat fluktuatif [20], [21], sedangkan hasil pembacaan dari multimeter dilakukan secara manual. Selanjutnya hasil pembacaan arus dari sensor diplot terhadap nilai arus dari multimeter untuk menentukan linearitas dari sensor. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hasil pengujian Sensor Arus ACS712

Gambar 4 menunjukkan linearitas dari hasil pengujian sensor arus ACS712. Plot penunjukan arus dari sensor terhadap arus dari multimeter menghasilkan persamaan garis linear $y = 0,0039904 + 0,95683 x$ dengan nilai $R = 0,99775$ atau $R^2 = 0,995505$. Dengan nilai R^2 mendekati nilai 1 (satu), maka sensor memiliki kinerja linearitas yang baik [22]. Dengan hasil tersebut, sensor sudah siap untuk digunakan dalam pengujian prototipe neraca dalam rangka penentuan hubungan arus dan massa.

Pada pengujian prototipe neraca, anak timbangan yang digunakan adalah anak timbangan kelas M3 dengan massa nominal 100 g, 200 g, dan 300 g. Pemilihan muatan tersebut dikarenakan konstruksi neraca yang dibuat mirip dengan neraca parama kelas C yang juga diuji pada muatan 100 g, 200 g dan 500 g [23]. Selain itu, dikarenakan piringan neraca juga memiliki massa sebesar 35 g, maka muatan yang harus ditarik oleh solenoid menjadi bertambah sebesar 135 g, 235 g dan 335 g. Dengan demikian, data pembacaan arus yang didapat akan dibandingkan dengan massa anak timbangan ditambah dengan massa piringan neraca. Pada pengujian ini, trimpot pengatur arus diputar secara perlahan sampai solenoid dapat menarik muatan hingga neraca seimbang. Hasil pengujian dari 30 kali pengambilan data pada setiap muatan uji ditunjukkan pada Tabel 2.

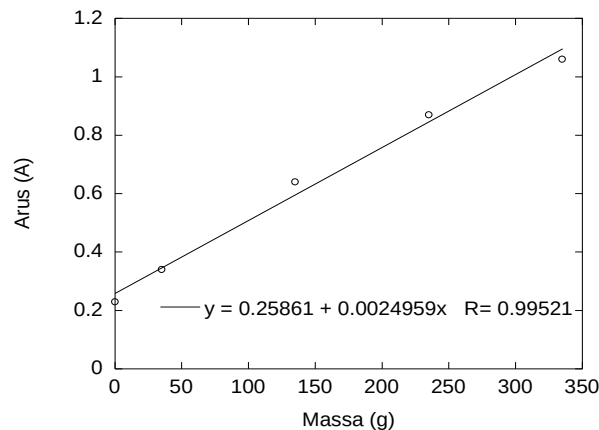
Tabel 2. Ringkasan hasil pengujian neraca

No	Muatan (g)	Arus rata-rata (A)	Standar Deviasi (A)	RSD (%)	Presisi (%)
1	0	0,23	0,0148	1,20	80,27
2	35	0,34	0,0117	0,64	89,55
3	135	0,64	0,0256	0,72	88,11
4	235	0,87	0,0182	0,38	93,73
5	335	1,06	0,0196	0,34	94,44

Pada Tabel 2, kepresisian hasil pengujian rata-rata ditunjukkan dari nilai *RSD* (*Relative Standard Deviation*) dan persen presisi. Nilai *RSD* ditentukan dari hasil bagi standar deviasi dengan nilai rata-rata [24] dan didapatkan nilai *RSD* pada rentang 0,34 hingga 1,20. Dengan rentang tersebut, data yang dihasilkan memenuhi persyaratan uji validasi kepresisian karena memiliki nilai *RSD* lebih kecil dari 2 % [24]. Kemudian dari nilai standar deviasi dan nilai rata-rata juga dapat dihitung nilai persen presisi [25] dan dihasilkan nilai persen presisi antara 80,27% hingga 94,44%. Dengan demikian, hasil pengukuran pada titik tanpa beban memiliki kepresisian terendah yaitu 80,27% dan *RSD* sebesar 1,20%; kepresisian tertinggi terjadi pada titik 335 g yaitu 94,44% dan *RSD* sebesar 0,34%.

Untuk menentukan hubungan arus dan massa, data arus rata-rata diplot terhadap data muatan yang ada pada Tabel 2. Pada Gambar 5 tampak arus meningkat seiring dengan naiknya muatan pada piringan neraca. Linearitas antar keduanya ditunjukkan pada persamaan regresi linear $y = 0,25861 + 0,0024959 x$ dengan nilai $R = 0,99521$ atau $R^2 = 0,9904$. Dengan nilai R^2 melebihi 0,9, maka hubungan arus dan massa dari prototipe neraca ini linear [22]. Dengan demikian, besarnya arus berbanding lurus dengan besarnya massa yang menyerupai salah satu persamaan atau kesebandingan massa dan arus listrik di dalam Neraca Watt dalam versi yang lebih sederhana [2], [5]. Tarikan untuk menyeimbangkan muatan pada neraca tersebut didapatkan dari arus listrik yang menimbulkan gaya elektromagnetik pada solenoid, dimana gaya elektromagnetik

kumparan solenoid sebanding dengan jumlah lilitan dan arus listrik [9]. Pada studi ini, jenis solenoid yang digunakan adalah solenoid linear tipe Tarik, karena tipe ini pada saat diberi arus listrik pada kumparan kawat yang melingkari inti besi, inti besi tersebut terdorong ke arah dalam atau melakukan gerakan tarikan [9], [26].



Gambar 5. Hubungan arus dan massa hasil dari pengujian prototipe

4 Kesimpulan

Prototipe neraca dengan penyeimbang tarikan solenoid linear telah berhasil dibuat dengan prinsip keseimbangan antara muatan pada piringan neraca di salah satu lengan neraca dengan tarikan dari solenoid linear pada lengan neraca lainnya, dimana pergerakannya ditentukan oleh besarnya arus listrik yang diatur oleh *regulator modul* XL4015 dan diukur oleh sensor arus ACS712. Hasil kalibrasi sensor arus ACS712 terhadap multimeter komersial menunjukkan nilai kesalahan relatif kecil sebesar 0,00 A hingga -0,05 A dan hubungan linearitas dengan nilai R^2 sebesar 0,995505. Selanjutnya, hubungan arus dan massa ditentukan dari kesetimbangan neraca yaitu dengan mengatur nilai arus yang dibutuhkan untuk menarik beban tertentu hingga neraca setimbang yang dideteksi dengan *waterpass*. Hasilnya terjadi kenaikan arus bertahap dari 0,23 A menjadi 1,06 A pada saat muatan pada piringan neraca dinaikan bertahap dari 0 gram menjadi 335 gram. Analisis dari arus dan massa tersebut menghasilkan persamaan garis linear dengan koefisien determinasi 0,9904; persen presisi 80,27% - 94,44% dan RSD 0,34% hingga 1,20%. Dengan demikian, prototipe ini dapat menunjukkan kesebandingan massa dan arus listrik menyerupai Neraca Watt dalam versi yang lebih sederhana dengan linearitas dan kepresisian yang baik.

5 Referensi

- [1] I. M. Mills, P. J. Mohr, T. J. Quinn, B. N. Taylor, and E. R. Williams, "Redefinition of The Kilogram: A Decision Whose Time Has Come", *Metrologia*, 42 (2), hal. 71–80, 2005.
- [2] H. Fang, F. Bielsa, A. Kiss, and M. Stock, "The BIPM Kibble Balance for Realizing The Kilogram Definition", *Metrologia*, 57 (4), hal. 045009, 2020.
- [3] B. N. Taylor and P. J. Mohr, "On The Redefinition of The Kilogram", *Metrologia*, 36 (1), hal. 63–64, 1999.
- [4] P. Richard, H. Fang, and R. Davis, "Foundation for The Redefinition of The Kilogram", *Metrologia*, 53 (5), hal. A6–A11, 2016.
- [5] S. Schlamminger and D. Haddad, "The Kibble balance and the kilogram", *Comptes Rendus Phys.*, 20 (1-2), hal. 55–63, 2019.
- [6] Wiranto, B. I. Setiawan, and S. K. Saptomo, "Sistem Kontrol Irigasi Otomatis Nirkabel", *J. Irig.*, 9 (2), hal. 108, 2014.
- [7] E. Nurimedika, Analisis Kalibrasi Anak Timbangan Menggunakan Neraca dengan Metode Borda dan Gauss, Karya Akhir, Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [8] S. H. Pratama, RFID Sebagai Pengaman Pintu Laboratorium Jurusan Teknik Elektro, Tugas Akhir, Universitas Negeri Semarang, 2015.
- [9] B. Winarno and I. Yuwono, "Optimalisasi Gaya pada Coil dengan Modifikasi Dimensi menggunakan Metoda Algoritma Genetika", *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, 2 (1), hal. 77–82, 2017.
- [10] S. M. R. B. Ginting, Perancangan Alat Pembaca Simpangan Skala Neraca secara Digital dengan Sensor Gyroscope Untuk Pengujian AT Menggunakan Metode Borda, Skripsi, Universitas Sumatera Utara, 2017.
- [11] Ishaq, Azhar, and Muhaimin, "Rancang Bangun Neraca Elektronik Menggunakan Sensor Load Cell Pada Mesin Penggiling Kunyit Kering", *J. Tektro*, 3 (1), hal. 14–19, 2019.

- [12] M. D. Rahayu, R. Agustrina, N. Nukmal, and S. Wahyuningsih, "Pertumbuhan Vegetatif Benih Lama Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) di Bawah Pengaruh Lama Pemaparan Medan Magnet 0,2 Mt Yang Berbeda", *Pros. Semin. Nas. Perhimpun. Biol. Indones. XXV*, hal. 169–177, 2019.
- [13] K. N. T. Yayer, W. A. Weliamto, R. Sitepu, and H. Pranjoto, "Monitoring Dan Penghentian Cairan Infus Menggunakan Timbangan Infus Digital Dengan Memanfaatkan Web Server", *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, 11 (1), hal. 55–64, 2020.
- [14] W. Arnandi and S. Iswahyudi, "Studi Eksperimental Pembangkitan Gaya Magnetik pada Kumputan Bearus dalam Medan Magnet Neodymium", *J. WAHANA ILMUWAN*, 3 (1), hal. 175–180, 2017.
- [15] M. Hendrawan, Analisis Peletakkan Imbuh terhadap Pengujian Bejana Ukur Standar Dengan Metode Borda Menggunakan Neraca, Karya Akhir, Universitas Gadjah Mada, 2018.
- [16] N. R. Prabowo, T. Sugiarto, and T. D. Susanto, "Studi Eksperimental Penambahan Selenoid Pada Saluran Bahan Bakar Motor Diesel Putaran Stasioner Terhadap Unjuk Kerjanya", *ITEKS Intuisi Teknol. dan Seni*, 12 (1), hal. 68–78, 2020.
- [17] R. Khwanrit, S. Kittipiyakul, J. Kudtonagngam, and H. Fujita, "Accuracy Comparison of Present Low-cost Current Sensors for Building Energy Monitoring", 2018 *Int. Conf. Embed. Syst. Intell. Technol. Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Embed. Syst. ICESIT-ICICTES 2018*, hal. 3–8, 2018.
- [18] R. Regivan and Almasari, "Analisis Perbandingan Ic Regulator Linier Dengan IC Regulator Switching Dalam Rangkaian Regulator Tegangan Pada Power Supply DC", *J. Multidisciplinary Res. Dev.*, hal. 1090–1099, 2019.
- [19] W. O. English, "Digital Storage Oscilloscope vs Digital Multimeter", *Conf. Rec. - Ind. Commer. Power Syst. Tech. Conf.*, hal. 1–7, 2006.
- [20] S. M. R. Nadeak and D. Susanti, "Variasi Temperatur Dan Waktu Tahan Kalsinasi Terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO_2 Sebagai Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah", *J. Tek. ITS*, 1 (1), hal. 81–86, 2012.
- [21] T. P. Satya, F. Puspasari, H. Prisyanti, and E. R. M. Saragih, "Perancangan Dan Analisis Sistem Alat Ukur Arus Listrik Menggunakan Sensor ACS712 Berbasis Arduino Uno Dengan Standard Clampmeter", *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, 11 (1), hal. 39–44, 2020.
- [22] S. Setiawan, G. Djoyowasito, and S. M. Sutan, "Rancang Bangun Alat Pengukur Tinggi Pohon Tegak Berbasis Mikrokontroler AT- Mega", *J. Keteknikan dan Sains - LPPM UNHAS*, 2 (1), hal. 14–19, 2019.
- [23] N. K. M. Diah and Sudiartono, Analisis Penentuan Nilai Skala Pada Neraca Parama C Kapasitas 1 kg, Karya Akhir, Universitas Gajah Mada, 2017.
- [24] S. Musiam and R. Alfian, "Validasi Metode Spektrofotometri UV pada Analisis Penetapan Kadar Asam Mefenamat dalam Sediaan Tablet Generik", *J. Ilm. Ibnu Sina*, 2 (1), hal. 31–43, 2013.
- [25] E. M. Mikhail and G. Gracie, Analysis and Adjustment of Survey Measurements, Van Nonstrand Reinhold, 1981.
- [26] N. A. Utari, Rancang Bangun Sistem Keamanan Lemari Meja Menggunakan Barcode Berbasis Android, Laporan Akhir, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2019.