

## Analisis Pengaruh Jumlah *Load Cell* Timbangan Jembatan Elektronik pada Pengujian Eksentrisitas sesuai Rekomendasi OIML R76

Faradhiba Alifiyah Safitri<sup>(1,a)\*</sup>, Danang Erwanto <sup>(1,b)</sup> dan Dian Efytra Yuliana<sup>(1,c)</sup>

<sup>(1)</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kediri, Kediri, Indonesia, 64227

Email : <sup>(a\*)</sup>[faradhib27@gmail.com](mailto:faradhib27@gmail.com), <sup>(b)</sup>[danangerwanto@uniska-kediri.ac.id](mailto:danangerwanto@uniska-kediri.ac.id), <sup>(c)</sup>[dianefytra@uniska-kediri.ac.id](mailto:dianefytra@uniska-kediri.ac.id)

Diterima (05 Desember 2024), Direvisi (24 Desember 2024)

**Abstract.** An electronic weighbridge measures the mass of vehicles and their loads using an electronic indicator. It operates through strain gauge-based load cells arranged in a Wheatstone bridge configuration, allowing for resistance changes under heavy forces to be converted into an output voltage. This voltage is then transmitted to a junction box and displayed on the indicator. Measurement accuracy is critical, with eccentricity testing evaluating the weighbridge's ability to provide consistent results under varying load positions. This research aims to analyze the impact of the number of load cells on the results of eccentricity tests in electronic weighbridges in accordance with OIML R76 recommendations. Two weighbridges with identical specifications (16 m × 3 m platform, maximum capacity of 60,000 kg, and readability of 10 kg) were examined. However, they differed in the number of load cells, with Weighbridge A using eight load cells and Weighbridge B using six load cells. The testing involved dividing the platform into three sections (front, middle, and rear) and using a 21,520 kg truck as ballast. The results indicated that Weighbridge A exhibited an average error of +0.33 kg, with a maximum error of +2 kg at point 3. In contrast, Weighbridge B recorded an average error of +3.17 kg, peaking at -9 kg at point 3. These findings indicate that Weighbridge A, with more load cells, achieves higher accuracy due to improved load distribution, particularly when weighing in both directions. In contrast, while Weighbridge B showed higher accuracy in the one-way weighing position, but it exhibited significant errors in rolling position tests due to uneven load distribution.

**Keywords:** electronic weighbridge, load cell, eccentricity, error.

**Abstrak.** Timbangan jembatan elektronik digunakan untuk mengukur massa kendaraan beserta muatannya dengan penunjukan elektronik. Timbangan ini bekerja menggunakan *load cell* berbasis *strain gauge* yang terhubung dalam konfigurasi jembatan *wheatstone*, dimana perubahan resistansi akibat gaya berat akan menghasilkan tegangan keluaran yang dikirimkan ke *junction box* untuk ditampilkan pada indikator. Akurasi pengukuran timbangan sangat penting. Salah satu yang diuji adalah eksentrisitas, yakni kemampuan timbangan memberikan hasil pengukuran yang konsisten meskipun beban ditempatkan pada posisi yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah *load cell* terhadap hasil pengujian eksentrisitas pada timbangan jembatan elektronik berdasar pada rekomendasi OIML R76. Penelitian dilakukan pada 2 timbangan jembatan dengan spesifikasi sama (lantai muatan 16 m x 3 m, kapasitas maksimum 60.000 kg dan daya baca 10 kg) namun, jumlah *load cell*nya berbeda. Pada timbangan A menggunakan 8 *load cell* dan timbangan B menggunakan 6 *load cell*. Titik uji ditentukan dengan membagi lantai muatan menjadi 3 bagian mewakili posisi depan, tengah dan belakang. Pengujian dilakukan menggunakan muatan berupa truk sebagai *ballast* dengan kapasitas 21.520 kg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa timbangan A memiliki nilai rata – rata *error* sebesar +0,33 kg, *error* terbesar berada pada titik uji 3 dengan nilai +2 kg. Sedangkan timbangan B memiliki rata-rata *error* sebesar +3,17 kg dan nilai *error* terbesar pada titik 3 dengan nilai –9 kg. Dapat disimpulkan jika timbangan A memiliki hasil pengukuran yang lebih akurat daripada timbangan B. Hal ini disebabkan karena timbangan A memiliki lebih banyak *load cell* sehingga distribusi bebannya lebih merata,

terutama jika timbangan memiliki kemampuan menimbang dari dua arah. Sebaliknya, timbangan B menunjukkan akurasi yang lebih baik pada posisi penimbangan satu arah, namun mengalami peningkatan *error* saat muatan diuji pada arah berlawanan (*rolling*) karena pada posisi *rolling* distribusi bebannya tidak merata.

**Kata kunci:** timbangan jembatan elektronik, *load cell*, eksentrisitas, *error*.

---

## PENDAHULUAN

Timbangan jembatan elektronik merupakan seperangkat alat ukur yang dirancang untuk mengukur massa kendaraan beserta muatannya yang penunjukannya elektronik [1][2]. Timbangan ini biasanya digunakan pada industri logistik dan transportasi untuk menimbang berat muatan atau kendaraan. Timbangan jembatan elektronik termasuk dalam jenis timbangan bukan otomatis, karena dalam proses penimbangannya membutuhkan bantuan operator. Berdasarkan konstruksinya, timbangan jembatan elektronik masuk dalam jenis timbangan elektronik [3].

Prinsip kerja timbangan jembatan elektronik yaitu saat kendaraan atau muatan diletakkan di atas lantai muatan maka masing-masing *load cell* akan membaca dan mengirim hasil pembacaan menuju *junction box*. *Load cell* atau sel beban berbasis *strain gauge* adalah transduser gaya (*force transducer*) yang biasanya terbuat dari logam yang memiliki bentuk dan dimensi sesuai rentang gaya yang diinginkan [4][5]. *Strain gauge* dihubungkan dalam konfigurasi jembatan *wheatstone*, yang terdiri dari 4 resistor. Perubahan resistansi akibat gaya berat yang menyebabkan ketidakseimbangan jembatan *wheatstone* dan menghasilkan tegangan keluaran [6]. *Junction box* berfungsi sebagai terminal dari beberapa tegangan keluaran dari kabel *load cell* yang digunakan (*summing box*) dan mengirimkan sinyal ke indikator untuk menampilkan hasil penimbangan [7].

Akurasi pengukuran timbangan ini sangat penting karena berkaitan dengan regulasi yang harus dipatuhi, operasional dan keselamatan [8]. Salah satu aspek

penting dalam menjaga akurasi timbangan adalah pengujian eksentrisitas. Dalam standar internasional OIML R76 (*International Organization of Legal Metrology*), eksentrisitas didefinisikan sebagai kemampuan timbangan untuk memberikan hasil pengukuran yang akurat dan konsisten meskipun beban ditempatkan pada berbagai posisi di lantai muatan timbangan [9]. Pengujian eksentrisitas dilakukan dengan menggunakan muatan sekitar 1/3 dari kapasitas maksimum timbangan. Lalu dari hasil penunjukan akan ditambahkan imbuh ( $\Delta L$ ) sebesar 0,1e sampai penunjukan berubah ke skala *interval* berikutnya. Adapun posisi uji ditentukan dengan membagi lantai muatan menjadi 3 bagian mewakili posisi depan, tengah dan belakang [10].

Pada penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa salah satu penyebab yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran timbangan jembatan adalah jumlah *load cell*, terutama pada pengujian eksentrisitas. Hal ini disebabkan karena *load cell* berperan penting dalam menyeimbangkan distribusi beban pada lantai muatan [11]. Dengan jumlah *load cell* yang lebih sedikit, distribusi beban cenderung kurang merata karena beban ditempatkan pada titik tertentu. Sebaliknya, dengan jumlah *load cell* yang lebih banyak, distribusi beban menjadi lebih merata, sehingga akurasi penunjukan timbangan lebih tinggi [12].

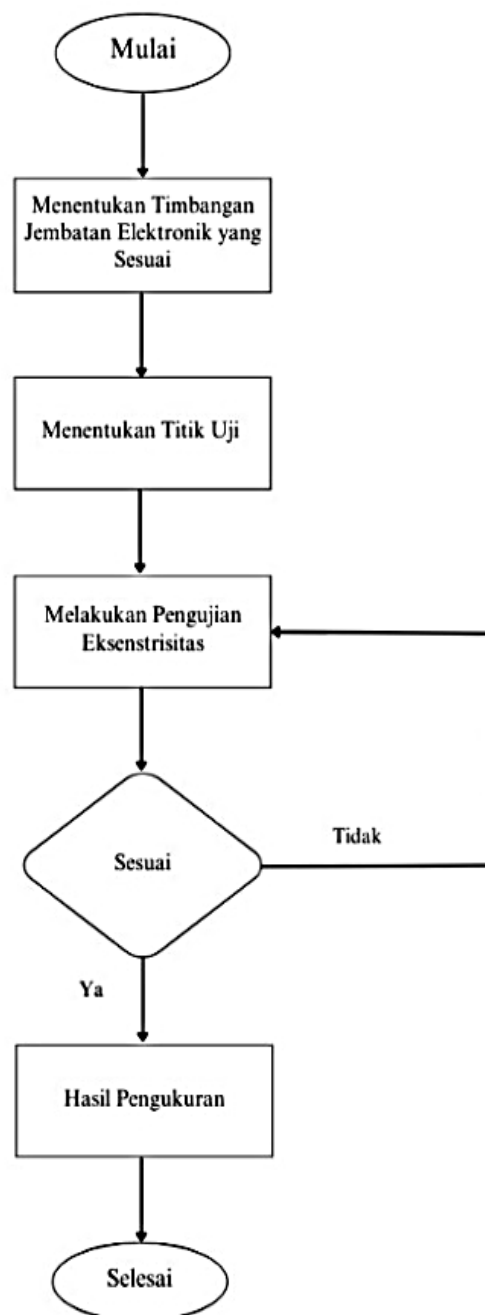
Lantai muatan yang panjang idealnya menggunakan lebih banyak *load cell* agar distribusi beban lebih merata. Terlebih jika timbangan jembatan dapat digunakan menimbang melalui dua arah. Namun, yang terjadi di lapangan masih banyak ditemukan timbangan jembatan elektronik yang

instalasinya kurang sesuai antara spesifikasi alat dan peruntukannya. Dimana dalam pembuatan instalasi timbangan, pengguna atau penyedia barang lebih memperhitungkan biaya instalasi yang terjangkau daripada kualitas timbangan itu sendiri. Hal ini menyebabkan munculnya permasalahan pada saat penggunaan timbangan jembatan elektronik, salah satunya akurasi pengukuran yang dipengaruhi oleh posisi beban pada lantai muatan dan jumlah *load cell* yang digunakan.

Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menganalisis lebih dalam terkait pengaruh jumlah *load cell* dengan melakukan pengujian eksentrisitas pada timbangan jembatan elektronik sesuai rekomendasi OIML R76 [13]. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi yang membahas secara rinci terkait pengaruh jumlah *load cell* timbangan jembatan elektronik pada pengujian eksentrisitas terhadap akurasi timbangan jembatan elektronik.

#### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yang dimulai dengan menentukan timbangan jembatan elektronik yang akan dianalisa. Lalu menentukan titik uji untuk pengujian. Selanjutnya dilakukan pengujian eksentrisitas untuk mengetahui kesesuaian hasil pengukuran pada timbangan jembatan elektronik sesuai rekomendasi OIML R76. Jika hasil yang didapatkan melebihi batas yang diizinkan maka pengujian eksentritias akan dilakukan kembali setelah timbangan dikalibrasi dengan standar. Namun, jika hasil pengukuran yang didapatkan masih dalam batas yang diizinkan maka pengujian selesai. Adapun untuk proses pengujian dapat dilihat pada diagram alir berikut :

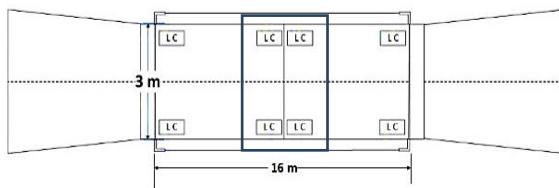


**Gambar 1.** Diagram Alir Pengujian

Didapatkan 2 lokasi timbangan yang sesuai dengan kriteria berada di Kabupaten Tulungagung yaitu, Pabrik A di Dusun Tanen, Desa Banjarejo, Kecamatan Rejotangan dan Pabrik B di Desa Tapan, Kecamatan Kedungwaru.



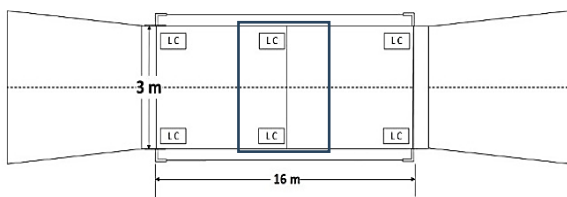
**Gambar 2.** Timbangan Jembatan Elektronik di Pabrik A



**Gambar 3.** Tampak Atas Platform Timbangan Jembatan Elektronik A dengan 8 *Load cell*



**Gambar 4.** Timbangan Jembatan Elektronik di Pabrik B

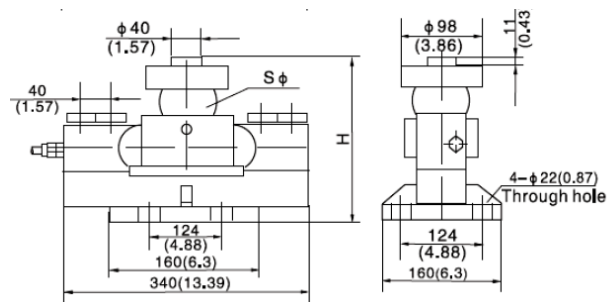


**Gambar 5.** Tampak Atas Platform Timbangan Jembatan Elektronik B dengan 6 *Load Cell*

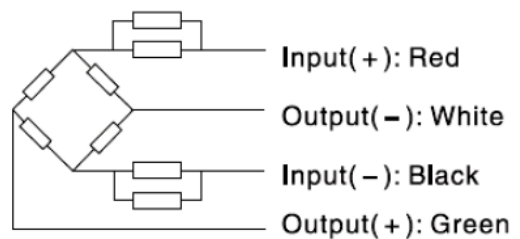
Sesuai rekomendasi OIML R60 tentang regulasi metrologi untuk *load cell*, jenis *load cell* yang digunakan pada kedua timbangan adalah *dual shear beam* [14]. *Load cell* jenis ini dirancang untuk mengukur gaya atau berat melalui prinsip tegangan geser (*shear stress*) [15]. *Load cell* yang digunakan memiliki kelas C3 dengan spesifikasi seperti Tabel 1:



**Gambar 6.** *Load Cell Dual Shear Beam*



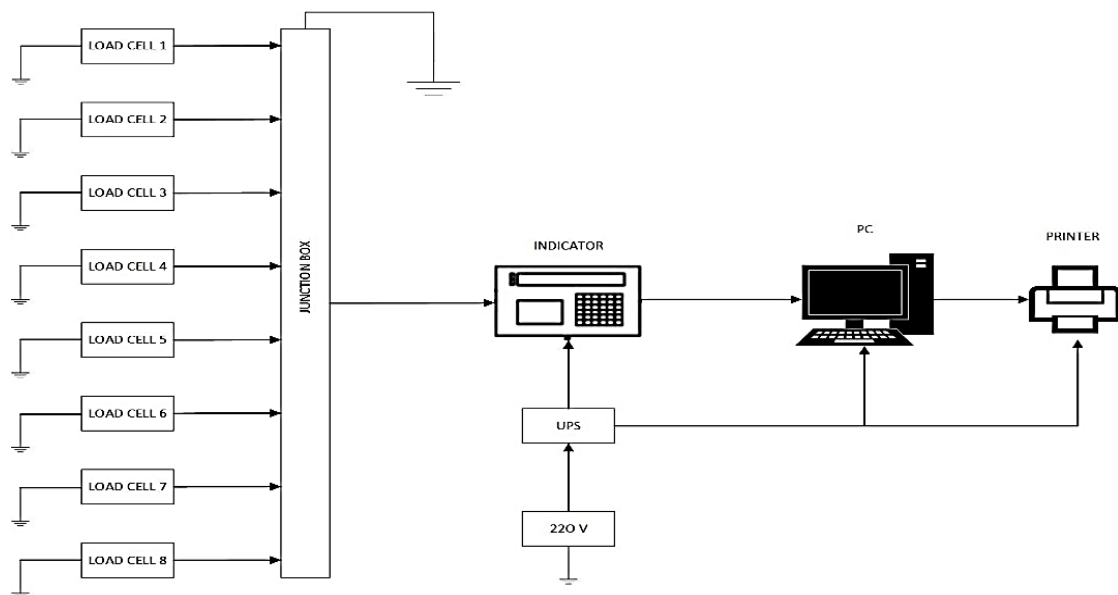
**Gambar 7.** Tampilan *Load cell*

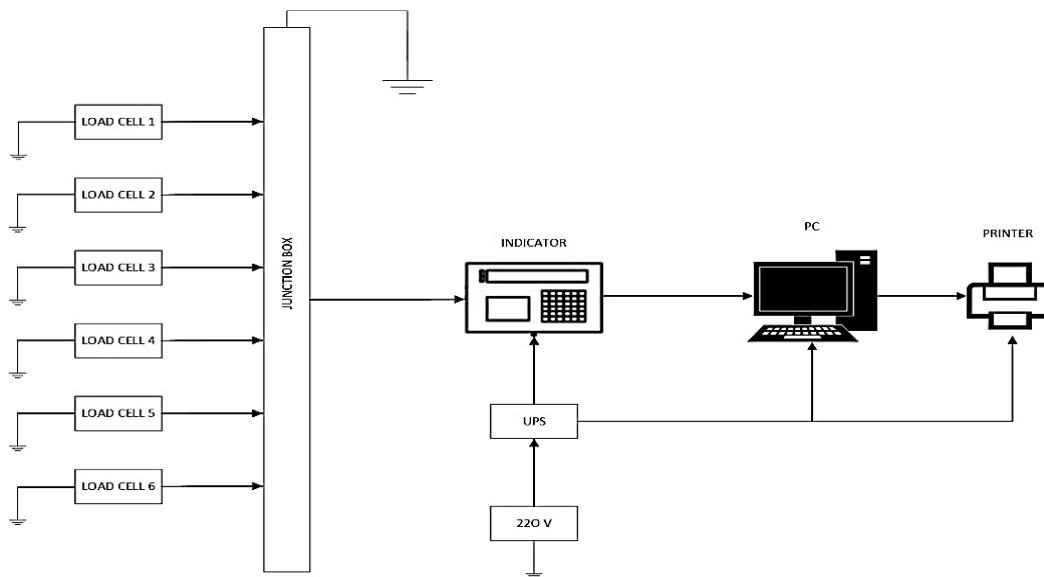


**Gambar 8.** Konfigurasi Jembatan *Wheatstone* pada *Load Cell*

**Tabel 1.** Datasheet Load Cell[16]

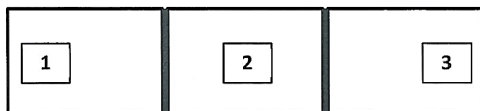
|                                                                   |                    |                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Accuracy class                                                    |                    | OIML R60 C3                                                                 |
| Output sensitivity ( = FS )                                       | mV/V               | $2.0 \pm 0.004$                                                             |
| Maximum capacity ( $E_{max}$ )                                    | t                  | 10, 20, 25, 30, 40, 40 SE, 50                                               |
| Maximum number of load cell intervals ( $n_{LC}$ )                |                    | 3000                                                                        |
| Ratio of minimum LC verification interval $Y = E_{max} / v_{min}$ |                    | $7500 - 15000^1$                                                            |
| Combined Error                                                    | %FS                | $\pm 0.020$                                                                 |
| Minimum dead load                                                 | t                  | 0                                                                           |
| Safe overload                                                     | of $E_{max}$       | 150 %                                                                       |
| Ultimate overload                                                 | of $E_{max}$       | 300 %                                                                       |
| Zero balance                                                      | of FS              | $< \pm 1.5 \%$                                                              |
| Excitation, recommended voltage                                   | V                  | 5 ~ 12                                                                      |
| Excitation maximum                                                | V                  | 18                                                                          |
| Terminal resistance, input                                        | $\Omega$           | $700 \pm 7$                                                                 |
| Terminal resistance, output                                       | $\Omega$           | $703 \pm 4$                                                                 |
| Insulation impedance                                              | M $\Omega$         | $\geq 5000$ ( at 50VDC )                                                    |
| Temperature range, compensated                                    | $^{\circ}\text{C}$ | -10 ~ +40                                                                   |
| Temperature range, operating                                      | $^{\circ}\text{C}$ | -35 ~ +65                                                                   |
| Element material                                                  |                    | Alloy steel                                                                 |
| Ingress Protection (according to EN 60529)                        |                    | IP68                                                                        |
| ATEX classification (optional)                                    |                    | II1G Ex ia II1C T4    II1D Ex iaD 20 T73 $^{\circ}\text{C}$ II3G nL II C T4 |

**Gambar 9.** Sistem Penimbangan Jembatan Elektronik 8 Load Cell



**Gambar 10.** Sistem Penimbangan Jembatan Elektronik 6 *Load Cell*

Adapun titik uji ditentukan mewakili masing-masing penampang *load cell* seperti pada gambar berikut :



**Gambar 11.** Posisi Titik Uji

Untuk menghitung nilai penunjukan sebenarnya ( $P$ ), *error* penunjukan ( $E$ ) dan rata-rata *error* ( $\bar{E}$ ) digunakan rumus pada persamaan berikut :

$$P = IL + 0,5e - \Delta L \quad (1)$$

$$E = P - L = IL + 0,5e - \Delta L - L \quad (2)$$

$$\bar{E} = \frac{\sum Ei}{n} \quad (3)$$

Pada **Persamaan 1** untuk menghitung nilai penunjukan sebenarnya ( $P$ ) dari timbangan jembatan yang uji dengan diperoleh dengan menjumlahkan nilai yang terbaca pada indikator (*Indicator Load*) dengan  $\frac{1}{2}$  dari nilai skala interval verifikasi ( $e$ ) dan dikurangi dengan nilai imbuh ( $\Delta L$ ). Pada **Persamaan 2** untuk menghitung nilai *error* ( $E$ ) didapatkan dengan mengurangi nilai penunjukan sebenarnya ( $P$ ) dengan

nilai muatan (*Load*), atau dapat dihitung dengan menjumlahkan nilai (*Indicator Load*) dengan  $\frac{1}{2}$  dari nilai skala interval verifikasi ( $e$ ) dikurangi dengan nilai imbuh ( $\Delta L$ ) dan muatan ( $L$ ) yang digunakan. Pada **Persamaan 3** digunakan untuk mencari nilai *error* rata-rata ( $\bar{E}$ ) dengan membagi total *error* dengan jumlah pengujian ( $n$ ).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dilakukan pada dua timbangan jembatan elektronik kelas III dengan kapasitas maksimum 60.000 kg, daya baca 10 kg dan luas lantai muatan sama yaitu 16 m x 3 m. Timbangan A menggunakan indikator merek Sayaki dengan Tipe A9 dan Timbangan B menggunakan indikator merek Avery – Weight Tronix Tipe ZM501.

Idealnya muatan yang digunakan pada pengujian eksentrisitas sekitar  $\frac{1}{3}$  kapasitas maksimum timbangan yaitu sekitar 20.000 kg. Hal ini didasari agar tidak merusak *load cell* yang digunakan karena menggunakan muatan yang melebihi kapasitas maksimumnya [17]. Namun, karena keterbatasan jumlah anak timbangan standar maka digunakan truk sebagai beban

pengganti (*ballast*) [18]. Pada kedua pengujian timbangan jembatan ini menggunakan truk (*ballast*) dengan kapasitas 21.520 kg sebagai muatan (*load*). Pengujian dilakukan sesuai titik uji dari posisi 1-2-3, lalu truk akan diuji lagi dari posisi 3-2-1 dengan arah masuk yang berlawanan (*rolling*). Dari pengujian eksentrisitas didapatkan hasil pengukuran timbangan jembatan elektronik A dan B seperti pada tabel berikut :

**Tabel 2.** Data hasil pengujian eksentrisitas pada Timbangan

| Titik Uji        | IL A (kg) | $\Delta L$ (kg) | P A (kg) | Error A (kg) |
|------------------|-----------|-----------------|----------|--------------|
| 1                | 21.520    | 4               | 21.521   | +1           |
| 2                | 21.520    | 6               | 21.519   | -1           |
| 3                | 21.520    | 3               | 21.522   | +2           |
| 3                | 21.520    | 4               | 21.521   | +1           |
| 2                | 21.520    | 5               | 21.520   | 0            |
| 1                | 21.520    | 6               | 21.519   | -1           |
| Rata – rata (kg) |           |                 |          | +0,33        |

**Tabel 3.** Data hasil pengujian eksentrisitas pada Timbangan B

| Titik Uji        | IL B (kg) | $\Delta L$ (kg) | P B (kg) | Error B (kg) |
|------------------|-----------|-----------------|----------|--------------|
| 1                | 21.520    | 8               | 21.517   | -3           |
| 2                | 21.520    | 7               | 21.518   | -2           |
| 3                | 21.520    | 8               | 21.517   | -3           |
| 3                | 21.510    | 4               | 21.511   | -9           |
| 2                | 21.520    | 3               | 21.522   | +2           |
| 1                | 21.520    | 9               | 21.516   | -4           |
| Rata – rata (kg) |           |                 |          | -3,17        |

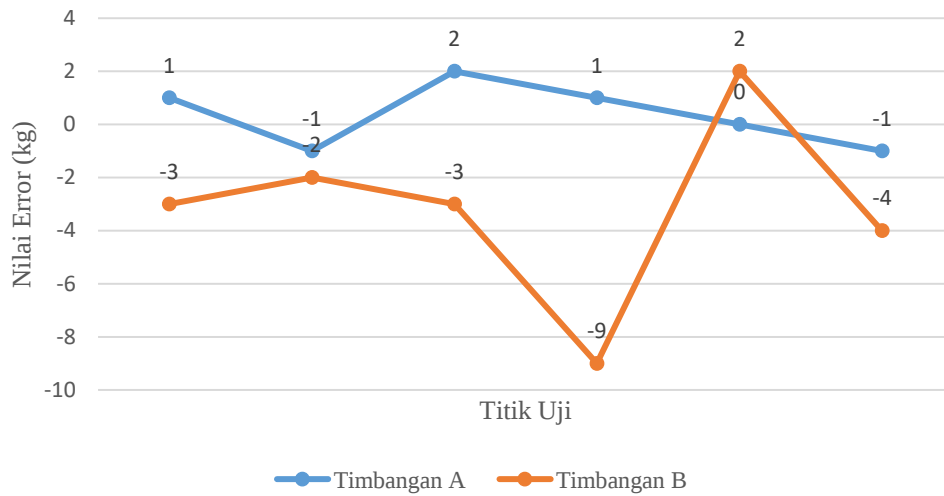
Dari hasil pengujian, didapatkan *error* terbesar pada timbangan A saat posisi uji (1-2-3) berada di titik uji 3 pada dengan nilai *error* sebesar +2 kg. Nilai *error* terkecil pada titik 1 dan 2 dengan nilai -1 kg dan +1 kg. Sedangkan pada pada posisi uji *rolling* (3-2-

1) nilai *error* terbesar pada titik 1 dan 3 dengan nilai -1 kg dan +1 kg. Nilai *error* terkecil pada titik 2 dengan nilai 0. Adapun nilai rata - rata *error* pada timbangan A sebesar +0,33 kg.

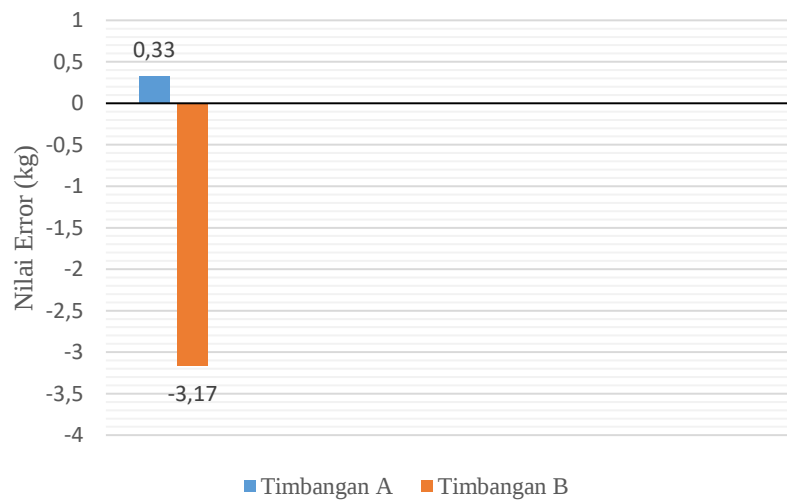
Pada posisi uji (1-2-3), *error* terbesar pada timbangan B berada di titik 1 dan 3 dengan nilai *error* sebesar -3 kg dan nilai *error* terkecil pada titik 2 dengan nilai -2 kg. Sedangkan pada pada posisi uji *rolling* (3-2-1), *error* terbesar pada titik 3 dengan nilai -9 kg dan *error* terkecil pada titik 2 sebesar +2 kg. Adapun rata – rata *error* pada timbangan B sebesar -3,17 kg.

Jumlah *load cell* yang digunakan pada timbangan jembatan memiliki pengaruh terhadap distribusi beban pada lantai muatan dan terhadap akurasi hasil penimbangan. Dari data tersebut dapat didapatkan jika rata-rata *error* dari timbangan A yang menggunakan 8 *load cell* memiliki nilai yang lebih kecil daripada timbangan B yang menggunakan 6 *load cell*. Hal ini disebabkan karena jika timbangan memiliki 8 *load cell* maka distribusi beban akan merata dan pembacaan hasil pengukuran lebih stabil dan akurat, apalagi jika timbangan jembatan memiliki kemampuan menimbang melalui dua arah.

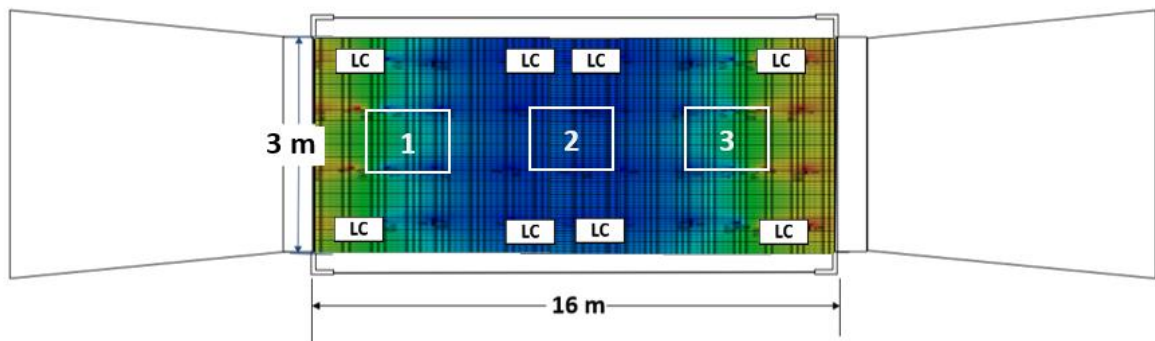
Pada timbangan jembatan B yang menggunakan 6 *load cell* pembacaannya akan lebih akurat. Namun, jika menimbang di arah sebaliknya (*rolling*), maka hasil pengukuran cenderung memiliki kesalahan yang lebih besar terutama pada posisi uji 3 karena lebih banyak ditumpu oleh 2 *load cell* belakang di titik 3. Oleh karena itu, Dengan jumlah *load cell* yang lebih sedikit, distribusi beban cenderung kurang merata terutama pada pengujian eksentrisitas karena beban ditempatkan pada posisi tertetu [18].



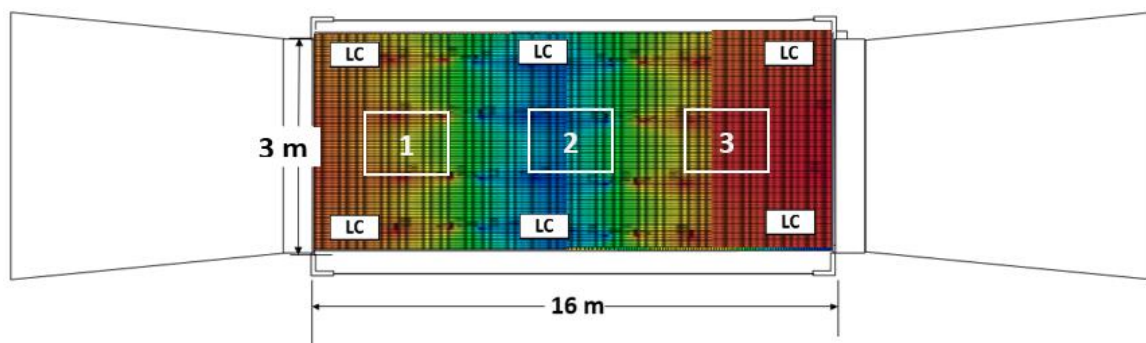
**Gambar 12.** Grafik Hasil Pengujian Eksentrisitas pada Kedua Timbangan



**Gambar 13.** Perbandingan Nilai Rata – Rata *Error* pada Kedua Timbangan



**Gambar 14.** Pemodelan 2D Hubungan *Error* dan Titik Uji Timbangan Jembatan Elektronik A dengan 8



**Gambar 15.** Pemodelan 2D Hubungan *Error* dan Titik Uji Timbangan Jembatan Elektronik B dengan 6

Pada **gambar 14** dapat dilihat secara keseluruhan bahwa *error* terbesar timbangan A berada pada titik uji 3, meskipun masih dalam kondisi baik. Sedangkan pada **gambar 15** dapat dilihat jika *error* terbesar timbangan B berada di titik uji 3.

### KESIMPULAN

Pengujian eksentrisitas pada dua timbangan jembatan elektronik kelas III (Timbangan A dan B) dengan luas lantai muatan 16 m x 3 m, kapasitas maksimum 60.000 kg dan daya baca 10 kg menunjukkan perbedaan kinerja berdasarkan jumlah *load cell* yang digunakan. Timbangan A dengan 8 *load cell* memiliki rata-rata *error* lebih kecil yaitu +0,33 kg dibandingkan dengan timbangan B yang menggunakan 6 *load cell* yaitu +3,17 kg. Distribusi beban yang lebih merata pada timbangan A menjadikan hasil pengukuran lebih akurat, terutama karena timbangan memiliki kemampuan menimbang dari dua arah.

Sebaliknya, timbangan B menunjukkan akurasi yang lebih baik pada saat pengujian pada posisi 1-2-3, namun mengalami peningkatan *error* saat muatan diuji pada arah berlawanan terutama pada titik uji 3. Hal ini disebabkan oleh distribusi beban yang kurang merata ketika muatan truk (*ballast*) hanya ditopang oleh 2 *load cell* belakang. Dengan demikian, jumlah *load cell* yang lebih banyak akan mempengaruhi keunggulan akurasi dalam pengukuran

muatan, khususnya pada timbangan jembatan yang memiliki kemampuan penimbangan dua arah.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sibuea and B. Saftaji, "Perancangan Sistem Monitoring Beban Kendaraan Menggunakan Teknologi Sensor Load Cell," *J. Teknol. Inform. dan Komput.*, vol. 6, no. 2, pp. 144–156, 2020.
- [2] U. G. Mada, "Pengujian Timbangan Jembatan Menggunakan Metode Langsung Dan Metode Substitusi Merk Mettler Toledo / Tipe 8142 Pro 38 Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Kemetrolagian Bandung Satya Restu Susiawan, Galih Setyawan, S, Si., M. Sc.," pp. 0–1, 2020.
- [3] P. Wali, "Analisa Pengujian Repeatability Timbangan Elektronik dengan Metode Syarat Teknis Timbangan Non Otomatis dan Metode NMI Australia," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 4, no. 2, pp. 176–183, 2019.
- [4] M. Rizal, *Pengukuran Teknik Dasar dan Aplikasi*. Aceh, Syiah Kuala University Press, 2020.

- [5] K. E. Norden, "Handbook of Electronic Weighing," *Handb. Electron. Weigh.*, 1998.
- [6] R. H. Bishop, *Mechatronic Systems, Sensors, and Actuators: Fundamentals and Modeling*. in The Mechatronics Handbook, Second Edition. CRC Press, 2017.
- [7] R. Lockhat, "Physics : Wheatstone bridge," vol. 26, no. Figure 4, pp. 100–101, 2020.
- [8] Faradiba, "Buku Materi Pembelajaran Metode Pengukuran Fisika," pp. 1–195, 2020.
- [9] OIML, "OIML R 76-1: Metrological and technical requirements - Tests," *Organ. Internaionales Métrologie Légale*, vol. 2006, pp. 1–144, 2006.
- [10] Kementerian Perdagangan, "Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga Nomor 240 Tahun 2023 tentang Syarat Teknis Timbangan Bukan Otomatis," Direktorat Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga, 2023.
- [11] R. S. Nasution, "Pengujian timbangan jembatan ASEAN-PTB Training Course," *Insan Metrologi*, vol. 6, no. 4, pp. 22–30, 2013.
- [12] K. Ahmad, "Mengenal Load Cell," *Insan Metrologi*, vol. 4, no. 1, pp. 27–28, 2020.
- [13] G. Bakti Muntoha, "Analisis Pengaruh Ukuran Lantai Muatan Timbangan Terhadap Nilai Error Pada Pengujian Eksentrisitas Timbangan Elektronik Sesuai OIML R76," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 12, no. 01, pp. 57–66, 2024.
- [14] OIML R 60, "Metrological regulation for load cells," vol. 2000, p. 86, 2000.
- [15] K. Kameoka, H. Sekguchi, Y. Ochiai, and T. Ono, "Natural Frequency of the Beam-Type Loadcell Scale with a Scale-Pan (Effect of the Rigidity of Scale-Pan and the Location of Load)," *Trans. Japan Soc. Mech. Eng. Ser. C*, vol. 53, no. 490, pp. 1133–1140, 1987.
- [16] "Datasheet : B3G load cell Specification : Outline Dimensions in mm," *Data Sheet*, no. 06, p. 12000, 2000.
- [17] H. B. Rahmatullah, "Ketidakpastian pengukuran pada peneraan timbangan jembatan dengan menggunakan substitution loads," *Diklat Kemetrolgian*, edisi IV, pp. 12–20, 2010.
- [18] K. Ahmad, "Kesalahan hasil menimbang pada timbangan jembatan PPSDK," *Insan Metrologi*, vol. 3, no. 2, pp. 13–17, Apr.–Jun. 2019.