

Perencanaan *Lift* Barang Kapasitas 600 Kg dengan Variabel Tali Baja (*Steel Wire Rope*) Tunggal

Yanuar Eka Wijaya, Eng Rachmat Firdaus*

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstrak: Tali baja adalah suatu bagian terpenting dari sistem pesawat pengangkat. Kekuatan tali baja berbeda-beda, tergantung dari segi pemakaian dan kebutuhan suatu gedung atau instansi untuk memudahkan segala aktivitas pemakainya. Konstruksi tali baja yang sering digunakan untuk lift terdiri dari 6 smpaian pntalan yang dililitkan bersama, arah kiri ataupun kanan dengan inti di tengahnya. Adapun penulisan penelitian ini mempergunakan teori-teori dasar berupa teori tentang tali baja, mesin pengangkat serta teori pendukung tentang mendapatkan umur dari tali baja yang kita gunakan. Adapun jenis tali baja disini yang digunakan adalah tipe 6x7+1C, 6x19+1C, 6x37+1C dan 6x61+1C dengan beban mekanisme angkat 600 Kg. hasil yang didapatkan dari perhitungan dalam penelitian ini berupa diameter tali baja, regangan tali baja dan umur tali baja.

Kata Kunci: Tali Baja, Diameter, Umur

DOI:

<https://doi.org/10.47134/innovative.v3i3.110>

*Correspondence: Eng Rachmat Firdaus

Email: firdausr@umsida.ac.id

Received: 01-07-2024

Accepted: 15-08-2024

Published: 30-09-2024

Abstract: Steel ropes are an important part of the lifting system. The strength of the steel rope varies, depending on the use and the needs of a building or agency to facilitate all activities of its use. The steel rope contruction that is often used for elevators consists of 6 spools wound together, left or right with the core in the middle. The writing of this final project uses basic theories in the form of theories about steel ropes that we use. The type of steel rope used here is the type 6x7+1C, 6x19+1C, 6x37+1C and 6x61+1C with a lifting mechanism load of 600 Kg. The results obtained from the calculations in this study are the diameter of the steel rope, the strain of the steel rope and the age of the steel rope.

Keywords: Steel Rope, Diameter, Age



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Pendahuluan

Sekarang ini banyak bangunan atau gedung (perkantoran, apartemen, instansi, hotel berbintang, *Trade Cender* dan lainnya) yang dibangun dengan konsep luas dan ketinggian yang berbeda. Sebagian besar gedung-gedung tersebut mencapai ketinggian empat lantai bahkan lebih (Hasim, 2024; Mazurek, 2024; Pan, 2024; Yamaguchi, 2024; Zhang, 2024). Hal tersebut diperhatikan dengan maksud untuk meminimalisir lahan bangunan, supaya tidak memakan banyak tempat atau lahan yang dipakai (Barus, 2018). Para arsitektur membuat konsep bangunan gedung bertingkat yang kebanyakan diterapkan di daerah perkotaan, dikarenakan banyak faktor yang mendukung hal tersebut (Li, 2023; Mazurek, 2023; Palanisamy, 2024; Zang, 2023). Tetapi dengan semakin banyaknya lantai yang ingin di tujuh jikalau hanya menggunakan tangga, dimulai dari mengurus tenaga tetapi juga mengurus waktu untuk naik ke lantai gudang yang diinginkan. Untuk itu dibutuhkan suatu alat pengangkat untuk mempermudah dan menjadikan proses tersebut lebih efisien (Liu, 2023; Peng, 2023).

Lift merupakan salah satu alat angkat yang paling dibutuhkan pada proyek-proyek konstruksi semacam ini. Pada *lift* komponen pokok terdiri dari sebuah cakra (*sheave*) dan tali atau rantai untuk penghubung sedangkan komponen pendukung berupa transmisi, alat kendali struktur mesin dan lainnya (Daulay, 2022). Mengingat bahaya yang akan timbul dari kerusakan alat di atas (kerusakan dapat mengakibatkan muatan yang diangkat jatuh dan dapat mengakibatkan kerusakan tidak hanya pada muatan tetapi juga mengancam jiwa manusia). Maka semua mekanisme dan struktur logamnya harus dibuat dari bahan yang bermutu tinggi. Salah satu diantara komponen yang paling pokok yaitu tali baja, dimana tali tersebut yang berperan menahan beban yang menggantung.

Pemilihan tali baja ini di dasarkan pada perhitungan teknis dan analisis diperlukan pada *lift* contohnya (6 x S19, (6 x W19) dan (6 x Fi25) (Hamsi, 2018). Maka dari itu penulis akan mencari serta mendapatkan informasi tentang kualitas serta umur tali baja yang baik untuk digunakan. Oleh sebab itu penulis merasa perlu melakukan analisis terhadap tali baja guna untuk menambah keselamatan pada pengguna *lift* tersebut. berdasarkan uraian yang telah di sebutkan penulis mengambil judul “Perancangan Lift Barang Kapasitas 600 Kg dengan Variabel Tali Baja (*Steel Wire Rope*) Tunggal”.

Metode

Pada penelitian ini menggunakan metode deskriptif analisis dengan pendekatan kuantitatif, metode deskriptif analisis dengan pendekatan kuantitatif yaitu hasil penelitian yang kemudian diolah dan dianalisis untuk diambil kesimpulannya, artinya penelitian yang dilakukan adalah penelitian yang menekankan analisisnya pada data-data numerik (angka) sehingga menghasilkan kesimpulan yang akan memperjelas gambaran mengenai objek yang diteliti (Herman, 2017).

Metode deskriptif analisis dengan pendekatan kuantitatif merupakan metode yang bertujuan menggambarkan secara sistematis dan faktual tentang fakta-fakta yang diteliti dengan cara menganalisis dan menginterpretasikan data (Joseph, 2017).

Sedangkan desain dalam perancangan menggunakan bantuan *software* Solidworks yang dapat mensimulasikan analisis *lift* barang kapasitas 600 Kg. Data yang dibutuhkan adalah data yang sesuai dengan tujuan penelitian, sehingga data tersebut akan dianalisis dan diproses sesuai dengan teori-teori yang telah dipelajari.

Desain Pada penelitian *lift* ini dirancang dengan menggunakan besi UNP 10 dengan ketebalan dan besi UNP 5 dengan ketebalan dan besi siku 40 dengan ketebalan. Tinggi *lift* 6 meter dan lebar 1,5 meter.

A. Persiapan Bahan

1. Tali Baja 6 x 7

Wire Rope Tali Kawat Seling 6x7 IWRC ada banyak jenis *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling yang beredar di pasaran yang biasanya dipergunakan untuk kebutuhan angkat beban atau Tarik beban (Sugiarto, 2019). Salah satu tipe dari kawat seling yang umum adalah *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling 6 x 7 IWRC *Galavanis*.

Wire Rope atau Tali Kawat Seling merupakan Tali yang terbuat dari Kawat Baja yang memiliki ukuran diameter tertentu dan di bagian tengahnya memiliki inti (*core*) yang terbuat dari *Wire Rope Independen* (IWRC) (Rudenko, 2018). *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling 6 x 7 IWRC *Galavis* merupakan kawat seling yang terdiri dari 6 buah *stard*, yang mana tiap *strand*-nya terdiri dari 7 helai kawat (*wire*).

2. Tali Baja 6 x 19

Wire Rope atau Tali Kawat 6x19 IWRC ada banyak jenis *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling yang beredar di pasaran yang biasanya dipergunakan untuk kebutuhan angkat beban atau tarik beban (Sularso, 2018). Salah satu tipe dari kawat seling yang umum adalah *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling 6x19 IWRC *Galavis*.

Wire Rope atau Tali Kawat Seling merupakan tali yang terbuat dari kawat baja yang memiliki ukuran diameter tertentu dan di bagian tengahnya memiliki inti (*core*) yang terbuat dari *Wire Rope Independen* (IWRC) (Sunarno, 2018). *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling 6x19 IWRC *Galavis* merupakan kawat seling yang terdiri dari 6 buah *stard*, yang mana tiap *strand*-nya terdiri dari 19 helai kawat (*wire*).

3. Tali Baja 6 x 37

Wire Rope atau Tali Kawat 6x37 IWRC ada banyak jenis *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling yang beredar di pasaran yang biasanya dipergunakan untuk kebutuhan angkat beban atau tarik beban (Syamsir, 2020). Salah satu tipe dari kawat seling yang umum adalah *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling 6x37 IWRC *Galavis*.

Wire Rope atau Tali Kawat Seling merupakan tali yang terbuat dari kawat baja yang memiliki ukuran diameter tertentu dan di bagian tengahnya memiliki inti (*core*) yang terbuat dari *Wire Rope Independen* (IWRC) (Utomo, 2018). *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling 6x37 IWRC *Galavis* merupakan kawat seling yang terdiri dari 6 buah *stard*, yang mana tiap *strand*-nya terdiri dari 19 helai kawat (*wire*).

4. Tali Baja 6 x 61

Wire Rope atau Tali Kawat 6x61 IWRC ada banyak jenis *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling yang beredar di pasaran yang biasanya dipergunakan untuk kebutuhan angkat beban atau tarik beban (Zayadi, 2016). Salah satu tipe dari kawat seling yang umum adalah *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling 6x61 IWRC *Galavis* (Zayadi, 2020).

Wire Rope atau Tali Kawat Seling merupakan tali yang terbuat dari kawat baja yang memiliki ukuran diameter tertentu dan di bagian tengahnya memiliki inti (*core*) yang terbuat dari *Wire Rope Independen* (IWRC) (Muin, 2017). *Wire Rope* atau Tali Kawat Seling 6x61 IWRC *Galavis* merupakan kawat seling yang terdiri dari 6 buah *stard*, yang mana tiap *strand*-nya terdiri dari 19 helai kawat (*wire*) (Rudenko, 2019).

Hasil dan Pembahasan

A. Tali Type 6x19+1C Dengan Pemberian Beban 600 Kg

1. Perhitungan Tegangan Tali

Diketahui nilai F adalah 3273,3 N dan nilai luas penampang tali baja (A) adalah sebesar 8,16 mm². Maka tegangan yang aktual pada tali baja adalah:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{3273,3 \text{ N}}{8,16 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 401 \text{ N/mm}^2$$

2. Perhitungan Regangan Pada Tali Baja

$$\Delta \ell = \frac{l_0 \times \sigma}{E}$$

$$\Delta \ell = \frac{1200 \text{ mm} \times 401 \text{ N/mm}^2}{5892 \text{ N}}$$

$$\Delta \ell = 81,67 \text{ mm per tahun}$$

Jadi pemuluran tali tiap tahunnya terjadi sebesar 81,67 mm per tahun

3. Perhitungan Diameter

$$D_{min} = e_1 \times e_2 \times d$$

$$D_{min} = 20 \times 0,90 \times 5$$

$$D_{min} = 90 \text{ mm}$$

4. Perhitungan Umur Tali Baja

$$N = \frac{Z}{a Z 2\beta\phi}$$

$$N = 84285 / (1000 \times 4 \times 0,5 \times 2,5)$$

$$N = 16,85 = 17 \text{ bulan}$$

Jadi umur tali pada tipe 6x19+ 1C dengan beban angkat sebesar 600 kg adalah ± 17 bulan.

B. Tali Type 6x7+1C dengan Pemberian Beban 600 Kg

1. Perhitungan Tegangan Tali

Jadi diameter tali baja yang digunakan pada tipe tali baja 6 x 7 + 1C adalah 5mm. Diketahui nilai F adalah 3273,3 N dan luas penampang tali baja (A) adalah sebesar 9,35 mm². Maka tegangan yang aktual pada tali baja adalah:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{3273,3 \text{ N}}{9,35 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 350 \text{ N} / \text{mm}^2$$

2. Perhitungan Regangan Pada Tali Baja

Di sini diketahui l_0 adalah panjang tali yang digunakan yaitu 1200 mm dan E adalah modulus elastis tali yaitu sebesar 5892 N/mm², dapat dilihat dari spesifikasi tali di atas. Maka dari itu pemuluran tali tiap tahunnya dapat di hitung dengan cara di bawah ini:

$$\Delta l = \frac{l_0 \times \sigma}{E}$$

$$\Delta l = \frac{1200 \text{ mm} \times 350 \text{ N/mm}^2}{5892 \text{ N/mm}^2}$$

$$\Delta l = 71,28 \text{ mm per tahun}$$

Jadi pemuluran tali tiap tahunnya terjadi sebesar 71,28 mm per tahun

3. Perhitungan Diameter

$$D_{min} = e_1 \times e_2 \times d$$

$$D_{min} = 20 \times 1.00 \times 5$$

$$D_{min} = 100 \text{ mm}$$

4. Perhitungan Umur Tali Baja

Setelah dilakukan interpolasi untuk mencari nilai Z, maka umur tali didapat dengan cara sebagai berikut:

$$N = \frac{Z}{a Z 2\beta\phi}$$

$$N = 74285,7 / (1000 \times 4 \times 0,5 \times 2,5)$$

$$N = 14,85 = 15 \text{ bulan}$$

Jadi umur tali baja pada tipe 6x7+ 1C untuk mengangkat beban sebesar 600Kg adalah sebesar 15 bulan.

C. Tali Type 6x37+1C dengan Pemberian Beban 600 Kg

1. Perhitungan Tegangan Tali

Jadi diameter tali baja yang digunakan pada tipe tali baja 6 x 37 + 1C adalah 4mm. Diketahui nilai F adalah 3273,3 N dan luas penampang tali baja (A) adalah sebesar 9,82 mm². Maka tegangan yang aktual pada tali baja adalah:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{3273,3 \text{ N}}{9,82 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 333 \text{ N} / \text{mm}^2$$

2. Perhitungan Regangan Pada Tali Baja

Di sini diketahui l₀ adalah panjang tali yang digunakan yaitu 1200 mm dan E adalah modulus elastis tali yaitu sebesar 5892 N/mm², dapat di lihat pada spesifikasi tali di atas. Maka dari itu pemuluran tali tiap tahunnya dapat di hitung dengan cara di bawah ini :

$$\Delta l = \frac{l_0 \times \sigma}{E}$$

$$\Delta l = \frac{1200 \text{ mm} \times 333 \text{ N/mm}^2}{5892 \text{ N/mm}^2}$$

$$\Delta l = 67,82 \text{ mm per tahun}$$

Jadi pemuluran tali tiap tahunnya terjadi sebesar 67,82 mm per tahun

3. Perhitungan Diameter

$$D_{min} = e_1 \times e_2 \times d$$

$$D_{min} = 20 \times 0.90 \times 5$$

$$D_{min} = 90 \text{ mm}$$

4. Perhitungan Umur Tali Baja

Setelah dilakukan interpolasi untuk mencari nilai Z, maka umur tali di dapat dengan cara :

$$N = \frac{Z}{a Z 2\beta\phi}$$

$$N = 87142 / (1000 \times 4 \times 0,5 \times 2,5)$$

$$N = 17,42 = 17 \text{ bulan}$$

Jadi umur tali baja pada tipe 6 x 37+ 1C untuk mengangkat beban sebesar 600 Kg adalah sebesar 17 bulan.

D. Tali Type 6x61+1C dengan Pemberian Beban 600 Kg

1. Perhitungan Tegangan Tali

Jadi diameter tali baja yang digunakan pada tipe tali baja 6x61+1C adalah 10 mm. diketahui nilai F adalah 3273,3 N dan nilai luas penampang tali baja (A) adalah sebesar 10 mm². Maka tegangan yang aktual pada tali baja adalah:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{3273,3 \text{ N}}{10 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 327 \text{ N / mm}^2$$

2. Perhitungan Regangan Pada Tali Baja

Di sini diketahui l_0 adalah panjang tali yang digunakan yaitu 1200 mm dan E adalah modulus elastis tali yaitu sebesar 5892 N/mm², dapat di lihat pada spesifikasi tali pada spesifikasi tali di atas, maka dari itu pemuluran tali tiap tahunnya dapat dihitung dengan cara di bawah ini:

$$\Delta l = \frac{l_0 \times \sigma}{E}$$

$$\Delta l = \frac{1200 \text{ mm} \times 327 \text{ N/mm}^2}{5892 \text{ N/mm}^2}$$

$$\Delta l = 66,59 \text{ mm per tahun}$$

Jadi pemuluran tali baja tiap tahunnya terjadi sebesar 66,59 mm per tahun

3. Perhitungan Diameter

$$D_{min} = e_1 \times e_2 \times d$$

$$D_{min} = 20 \times 1.00 \times 5$$

$$D_{min} = 100 \text{ mm}$$

4. Perhitungan Umur Tali Baja

Setelah dilakukan interpolasi untuk mencari nilai Z, maka umur tali didapat dengan cara sebagai berikut:

$$N = \frac{Z}{a Z 2 \beta \phi}$$

$$N = 171428,5 / (1000 \times 4 \times 0,5 \times 2,5)$$

$$N = 34,28 = 34 \text{ bulan}$$

Jadi umur tali pada tipe 6 x 61+ 1C untuk mengangkat beban sebesar 600Kg adalah sebesar 34 bulan.

Simpulan

Hasil analisis perhitungan tentang umur tali baja dengan tipe yang berbeda 600Kg, dengan tipe tali 6x7, 6x19, 6x37 dan 6x61 maka dihasilkan kesimpulan bahwa, untuk tali baja dengan tipe 6x19 dengan beban 600 kg yang memiliki tegangan sebesar 401 N/mm² dengan jarak waktu umur yaitu 17 bulan dengan perlakuan kerja relatif ringan. Untuk tali Baja dengan tipe 6x7 dengan beban 600kg didapati tegangan sebesar 350 N/mm² dan umur yang didapat 15 bulan digunakan untuk jenis pekerjaan ringan. Untuk tali baja dengan tipe 6x37 dengan beban 600 kg yang memiliki tegangan sebesar 333 N/mm² dengan jarak waktu umur yaitu 17 bulan dengan perlakuan kerja relatif ringan. Untuk tali baja dengan tipe 6x61 dengan beban 600kg didapati tegangan sebesar 327 N/mm² dan umur yang didapat 34 bulan dengan perlakuan kerja relatif ringan.

Daftar Pustaka

- Barus. (2018). *Perancangan Lift untuk Keperluan Gudang*. Yogyakarta: Andi.
- Daulay, M. A. (2022). *Analisis Daya Motor Yang Di Butuhkan Lift Pada Percobaan Berkapasitas 500 Kg Bangunan 2 Lantai*. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik (JIMT)*, 2(1). E-ISSN 2808-7720.
- Hamsi, A. (2018). *Simulasi Perancangan Dan Pembuatan Shop Drawing Pada Pembangunan Lift Penuroang Kapasitas 20 Orang/1350 Kg*. *Jurnal Dinamis*, 6(2). E-ISSN 0216-7492.
- Hasim, N. (2024). Corrosion rate and electrical conductivity of zinc-aluminium-magnesium (ZAM) coated steel wire rope. *AIP Conference Proceedings*, 2925(1). <https://doi.org/10.1063/5.0185694>
- Herman. (2017). *Elemen Mesin, Elemen Konstruksi dari Bangun Mesin*. Jakarta: PT. Pradya Paramitha.
- Li, K. (2023). Flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened with high-strength stainless steel wire rope meshes reinforced ECC. *Construction and Building Materials*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129627>
- Liu, Z. (2023). Shaking Noise Exploration and Elimination for Detecting Local Flaws of Steel Wire Ropes Based on Magnetic Flux Leakages. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 70(4), 4206–4216. <https://doi.org/10.1109/TIE.2022.3174302>
- Joseph. (2017). *Perencanaan Teknik Mesin*. Jakarta: Erlangga.
- Mazurek, P. (2023). A Comprehensive Review of Steel Wire Rope Degradation Mechanisms and Recent Damage Detection Methods. *Sustainability (Switzerland)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15065441>
- Mazurek, P. (2024). Analysis of the resolution of the passive magnetic method on the example of nondestructive testing of steel wire ropes. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 589. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171607>
- Muin. (2017). *Pesawat Pesawat Pengangkat*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Pahleviannur, M. R. (2022). *Penentuan Prioritas Pilar Satuan Pendidikan Aman Bencana (SPAB) menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Pena Persada.

- Pahleviannur, M. R., Ayuni, I. K., Widiastuti, A. S., Umaroh, R., Aisyah, H. R., Afyah, Z., Azzahra, I., Chairani, M. S., Dhafita, N. A., & Rohmah, N. L. (2023). Kerentanan Sosial Ekonomi terhadap Bencana Banjir di Hilir DAS Citanduy Bagian Barat Kabupaten Pangandaran Jawa Barat. *Media Komunikasi Geografi*, 24(2), 189–205.
- Palanisamy, S. K. (2024). Optimization of torsion and wear characteristics on reinforced steel wire rope. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 52(2), 752–772. <https://doi.org/10.1080/15397734.2022.2122502>
- Pan, F. (2024). Adaptive Local Flaw Detection Based on Magnetic Flux Leakage Images With a Noise Distortion Effect for Steel Wire Ropes. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 71(4), 4120–4129. <https://doi.org/10.1109/TIE.2023.3273250>
- Peng, Y. (2023). Friction and wear of multiple steel wires in a wire rope. *Friction*, 11(5), 763–784. <https://doi.org/10.1007/s40544-022-0665-y>
- Rudenko. (2018). *Mesi Pengangkat*. Jakarta: Mediatama Saptakarya.
- Rudenko. (2019). *Mesin Pemindah Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Sugiarto, N. (2019). *Menggambar Mesin Menurut ISO*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- Sularso. (2018). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradya Paramitha.
- Sunarno. (2018). *Mekanikal Elektrikal*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Syamsir. (2020). *Pesawat-Pesawat Pengangkat*. Jakarta: PT. Paradya Paramitha.
- Utomo. (2018). *Alat Pengangkat dan Pompa*. Jakarta: PT. Pradya Paramitha.
- Yamaguchi, T. (2024). Tensile strengths of super high-strength steel strand wire ropes and wire rope open swaged socket connections at fire and post fire. *Journal of Structural Fire Engineering*, 15(1), 50–75. <https://doi.org/10.1108/JSFE-01-2023-0013>
- Zang, J. (2023). The performance of nonlinear vibration control via NiTiNOL–Steel wire ropes. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2022.107058>
- Zayadi, A. (2016). Perencanaan Lift Hotel Bertingkat Tiga Puluah Berdasarkan SNI Nomor: 03-6573-2001. *Jurnal Ilmiah GIGA*, 19(2). E-ISSN 1410-8682.
- Zayadi, A. (2020). Analisis Kekuatan Tali Baja Pada Lift Schindler Kapasitas 1600 Kg. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 5(1). E-ISSN 2684-9704.
- Zhang, J. (2024). Quantitative Study on Cross Section Damage of Steel Wire Rope Based on Magnetic Signal Characteristics under Weak Magnetic Excitation. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 73, 1–7. <https://doi.org/10.1109/TIM.2024.3353842>