

PERBANDINGAN INSPEKSI DIMENSI ANTARA METODE KONTAK DAN NON-KONTAK

Devid Muliawan, Ir. Ihsan Saputra, S.T., M.T.

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: devidmuliawan630@gmail.com

Abstrak

Inspeksi dimensi merupakan tahap penting dalam proses manufaktur untuk memastikan produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja metode kontak menggunakan Coordinate Measuring Machine (CMM) Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series dan metode non-kontak menggunakan Keyence LM-1000 dalam pengukuran dimensi. Objek ukur yang digunakan adalah block gauge dengan ukuran nominal 5 mm. Pengukuran dilakukan sebanyak sepuluh kali pengulangan pada masing-masing alat untuk memperoleh data yang memadai dalam analisis statistik. Pengukuran menggunakan Keyence LM-1000 dilaksanakan di PT Panasonic Industrial Devices Batam, sedangkan pengukuran menggunakan CMM dilakukan di Laboratorium Metrologi Politeknik Negeri Batam. Parameter yang dianalisis meliputi nilai rata-rata (mean), mean error, dan standar deviasi sebagai indikator akurasi dan repeatability. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode kontak menghasilkan nilai rata-rata 5,00039 mm, mean error 0,00039 mm, dan standar deviasi 0,00012 mm. Sementara itu, metode non-kontak menghasilkan nilai rata-rata 5,00055 mm, mean error 0,00055 mm, dan standar deviasi 0,00018 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode kontak menggunakan CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series memiliki tingkat akurasi dan presisi yang lebih baik dibandingkan metode non-kontak menggunakan Keyence LM-1000 pada pengukuran block gauge 5 mm.

Kata Kunci : CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series, Keyence LM-1000, metode kontak, metode non-kontak, inspeksi dimensi, akurasi, block gauge.

Abstrak

Dimensional inspection is an essential stage in the manufacturing process to ensure that products comply with specified requirements. This study aims to compare the performance of a contact measurement method using the Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series Coordinate Measuring Machine (CMM) and a non-contact measurement method using the Keyence LM-1000. The measurement object was a gauge block with a nominal dimension of 5 mm. Ten repeated measurements were performed using each instrument to obtain sufficient data for statistical analysis. Measurements with the Keyence LM-1000 were conducted at PT Panasonic Industrial Devices Batam, while measurements with the CMM were carried out at the Metrology Laboratory of Batam State Polytechnic. The evaluated parameters included the mean, mean error, and standard deviation as indicators of accuracy and repeatability. The results showed that the contact method produced an average value of 5.00039 mm, a mean error of 0.00039 mm, and a standard deviation of 0.00012 mm. In contrast, the non-contact method produced an average value of 5.00055 mm, a mean error of 0.00055 mm, and a standard deviation of 0.00018 mm. These findings indicate that the contact method using the Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series provides higher accuracy and precision than the non-contact method using the Keyence LM-1000 for the measurement of a 5 mm gauge block.

Keywords: Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series CMM, Keyence LM-1000, contact method, non-contact method, dimensional inspection, accuracy, block gauge.

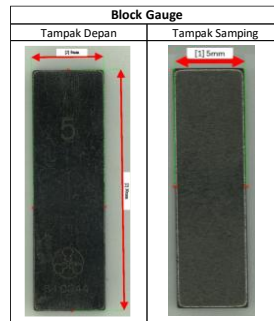
1. PENDAHULUAN

Kualitas produk manufaktur sangat dipengaruhi oleh ketepatan dimensi hasil produksi. Di dalam dunia industri yang semakin kompetitif, kemampuan untuk melakukan inspeksi dimensi secara cepat dan tepat, menjadi faktor pembeda yang signifikan antara perusahaan yang mampu menjaga konsistensi mutu dan yang tidak. Proses inspeksi dimensi bertujuan untuk memverifikasi kesesuaian dimensi aktual suatu komponen terhadap gambar teknik atau standar toleransi yang berlaku.

Metode pengukuran kontak dilakukan menggunakan alat ukur CMM. Alat ini bekerja dengan cara menyentuh permukaan benda menggunakan probe untuk menentukan titik ukur. CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series adalah contoh CMM manual yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengukuran presisi dengan tetap mempertahankan kemudahan operasional. Menurut dokumentasi teknis Mitutoyo, seri ini memiliki akurasi $(3,0 + 4,0L/1000)$ μm , dengan resolusi 0,0005 mm dan rentang pengukuran hingga $400 \times 400 \times 300$ mm. Sistem ini dilengkapi fungsi kompensasi termal yang memungkinkan pengukuran tetap andal dalam rentang suhu 15 hingga 30°C tanpa memerlukan ruang ukur bersuhu konstan yang sangat ketat. [1]

Di sisi lain, untuk pengukuran metode Non-Kontak Keyence LM 1000 merupakan pengukuran yang menggunakan kamera digital yang dikenal sebagai sistem pengukuran dimensi berbasis optik atau yang sering disebut sebagai non-contact. Keyence LM 1000 merupakan salah satu sistem dalam kategori ini, alat ini menggunakan kamera dengan resolusi tinggi untuk menangkap gambar objek, kemudian diproses oleh software untuk menentukan ukuran dimensi secara otomatis. Sistem ini diklaim mampu menghasilkan akurasi pengukuran $\pm 0,7$ μm dengan repeatability $\pm 0,1$ μm , sepenuhnya otomatis, dan tidak memerlukan fixture khusus atau keahlian tinggi dari operatornya. [2] Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat akurasi hasil pengukuran dari alat ukur CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series dan Keyence LM Series (LM-1000) dalam inspeksi dimensi.

Dalam penelitian ini digunakan block gauge dengan ukuran lebar 9 mm, tinggi 30 mm dan ketebalan 5 mm, akan tetapi dalam pengujian kali ini yang di ukur hanya ketebalan dari block gaugennya saja sebagai standar pembandingan. Block gauge merupakan alat ukur standar yang memiliki dimensi sangat presisi. Penggunaan block gauge memungkinkan evaluasi akurasi kedua sistem pengukuran dilakukan secara objektif karena nilai referensinya telah diketahui dengan pasti. [6]



Agar cakupan penelitian ini tetap terfokus dan hasilnya dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, beberapa batasan masalah ditetapkan sebagai berikut. Penelitian ini hanya melibatkan dua sistem pengukuran yang telah ditentukan, yakni CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series untuk metode kontak dan Keyence LM Series (LM-1000) untuk metode non-kontak, Objek ukur yang digunakan dibatasi pada satu jenis spesimen saja, yaitu block gauge dengan ukuran ketebalan nominal 5 mm, komponen lain dengan geometri yang lebih kompleks tidak digunakan dalam penelitian ini guna menjaga konsistensi dan kesetaraan kondisi pengujian. Pengukuran dengan masing-masing sistem dilakukan sebanyak sepuluh kali pengulangan pada setiap sesi.

Salah satu alat ukur yang banyak digunakan dalam industri adalah Coordinate Measuring Machine (CMM). Alat ini bekerja dengan metode kontak melalui probe yang menyentuh permukaan benda kerja untuk memperoleh data koordinat tiga dimensi, keunggulan CMM terletak pada kemampuannya mengukur berbagai fitur geometri dalam tingkat ketelitian yang tinggi, termasuk area yang sulit dijangkau oleh sistem optik. Namun, karena pengukuran dilakukan melalui kontak langsung dan titik demi titik. Proses inspeksi cenderung membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan metode non-kontak. [4]

Untuk pengukuran metode Non-kontak menggunakan Keyence LM 1000 berbasis optik. Sistem ini memanfaatkan kamera dan pengolahan citra digital untuk memperoleh dimensi objek tanpa menyentuh permukaannya. Penggunaan kamera telecentric memungkinkan skala pengukuran tetap konsisten sehingga hasil yang diperoleh memiliki tingkat ketelitian yang tinggi. Selain itu, proses pengukuran dapat dilakukan lebih cepat karena data diperoleh secara otomatis melalui sistem optik. [5]

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran langsung terhadap spesimen yang sama menggunakan dua sistem pengukuran yang berbeda, kemudian data yang diperoleh dianalisis secara statistik untuk mengidentifikasi perbedaan yang signifikan di antara keduanya. [8]

Penelitian ini dilaksanakan di dua lokasi yang berbeda sesuai dengan ketersediaan alat ukur yang menjadi objek studi. Pengujian menggunakan Keyence LM Series (LM-1000) dilaksanakan di PT Panasonic Industrial Devices Batam. Alat ukur Keyence LM-1000 di perusahaan tersebut telah digunakan secara rutin dalam proses quality control produksi, sehingga kondisinya terpelihara dengan baik dan sesuai untuk pengujian penelitian. Adapun pengujian menggunakan CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series dilaksanakan di Laboratorium Metrologi (W6) Politeknik.

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah block gauge (gauge block) dengan nilai nominal 5 mm. Block gauge yang digunakan dalam kondisi bersih, bebas dari cacat permukaan, dan disimpan dalam wadah standar untuk mencegah kontaminasi antar waktu pengujian. Setiap sesi pengukuran didahului oleh proses kondisioning (aklimatisasi) block gauge selama minimal 30 menit di lingkungan pengukuran guna menyetarakan suhu benda dengan suhu ruangan [6]

Parameter	Keterangan
Jenis artefak	Gauge block / block gauge
Ukuran nominal	5 mm
Material	Baja karbida (tungsten carbide)
Suhu Ruangan	25°C ± 0,5°C

Tabel 1. Spesifikasi Block Gauge yang Digunakan sebagai Spesimen Uji [9]

Dua sistem pengukuran yang menjadi objek perbandingan dalam penelitian ini memiliki prinsip kerja dan spesifikasi teknis yang berbeda secara fundamental. Tabel 2 merangkum spesifikasi teknis utama dari masing-masing alat.

Parameter	CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series	Keyence LM Series (LM-1000)
Metode	Kontak (touch probe)	Non-kontak (optik telecentric)
Akurasi	(3,0 + 4,0L/1000) µm	±0,7 µm
Repeatability	≤ 1,0 µm	±0,1 µm
Resolusi	0,5 µm (0,0005 mm)	Sub-pixel (< 0,1 µm)
Rentang pengukuran (X×Y×Z)	400 × 400 × 300 mm	Sesuai field of view lensa
Probe/sensor	Bola ruby, Ø2 mm	Kamera telecentric CMOS resolusi tinggi
Operasi	Semi-manual, operator terlatih	Otomatis penuh, satu tombol
Lokasi pengujian	Lab. Metrologi Politeknik Negeri Batam	PT Panasonic Industrial Devices Batam

Tabel 2. Spesifikasi Teknis Alat Ukur yang Digunakan [1, 2]

Penelitian ini mengevaluasi kinerja kedua sistem pengukuran berdasarkan parameter akurasi dan repeatability. Nilai mean yaitu rata-rata hasil dari pengukuran $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$, Akurasi dinyatakan sebagai mean error (ME) $ME = \bar{x} - x_{ref}$, yaitu rata-rata selisih antara nilai hasil pengukuran dengan nilai referensi yang diperoleh dari block gauge. Sementara itu, repeatability dievaluasi menggunakan standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

dari sepuluh kali pengukuran berulang, yang menggambarkan konsistensi hasil pengukuran pada kondisi yang sama. [10]

Sebelum pengukuran dimulai di setiap lokasi, dilakukan verifikasi kondisi lingkungan menggunakan termometer dan higrometer digital. Block gauge dibersihkan dari kontaminan permukaan menggunakan kain lembut yang telah dibasahi alkohol isopropil 99%, kemudian dikondisikan di dalam ruang pengukuran selama minimal 30 menit untuk mencapai kesetimbangan termal dengan lingkungan. [11]

Untuk pengukuran dengan CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series di Laboratorium Metrologi Politeknik Negeri Batam, prosedur dimulai dengan kalibrasi probe menggunakan reference sphere. Setelah kalibrasi selesai, block gauge ditempatkan di atas meja granit CMM menggunakan fixture yang tepat untuk memastikan orientasi yang konsisten. Setiap pengukuran diulang sebanyak sepuluh kali, dengan setiap ulangan diawali oleh proses repositioning block gauge (diangkat lalu diletakkan kembali) untuk mensimulasikan kondisi pengukuran nyata. [1]

Untuk pengukuran dengan Keyence LM-1000 di PT Panasonic Industrial Devices Batam, prosedur dimulai dengan verifikasi kalibrasi sistem menggunakan gauge block referensi internal sesuai prosedur standar Keyence. Block gauge uji kemudian ditempatkan di atas stage pengukuran. Program pengukuran yang telah diajarkan sebelumnya (teaching program) diaktifkan, dan sistem secara otomatis melakukan proses autofokus, deteksi tepi, dan kalkulasi dimensi. Sebagaimana pengujian CMM, setiap pengukuran diulang sepuluh kali dengan repositioning block gauge di antara setiap pengulangan. [2]

Kegiatan	CMM Mitutoyo	Keyence LM-1000
Kondisioning spesimen	Min. 30 menit di lab	Min. 30 menit di lokasi
Kalibrasi alat ukur	Reference sphere	Internal gauge block,
Pengukuran (10 ulangan)	Single-plane measurement	Auto measurement
Repositioning antar ulangan	Angkat dan letakkan kembali	Angkat dan letakkan kembali

Tabel 3. Rancangan Pengambilan Data [1, 2, 12]

Untuk parameter akurasi, nilai mean error (ME) dihitung sebagai rerata dari selisih antara setiap data pengukuran (x_i) dengan nilai referensi block gauge, di mana $n = 10$. Standar deviasi dari sepuluh ulangan dihitung untuk mengevaluasi repeatability. Seluruh analisis dilakukan menggunakan Microsoft Excel [9, 10, 13]

Alur penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan validitas dan reliabilitas data yang dikumpulkan. Proses penelitian dimulai dari studi literatur yang komprehensif untuk mengidentifikasi celah penelitian dan menetapkan landasan teori. Selanjutnya dilakukan persiapan spesimen dan verifikasi sertifikasi kalibrasi block gauge 5 mm. Tahap berikutnya adalah pelaksanaan pengukuran di kedua lokasi secara berurutan dengan prosedur yang terstandarisasi. Data yang terkumpul kemudian diolah secara statistik untuk menghasilkan parameter utama, Tahap akhir adalah penarikan kesimpulan dan penyusunan rekomendasi yang diharapkan bermanfaat bagi industri dan akademisi.

3. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

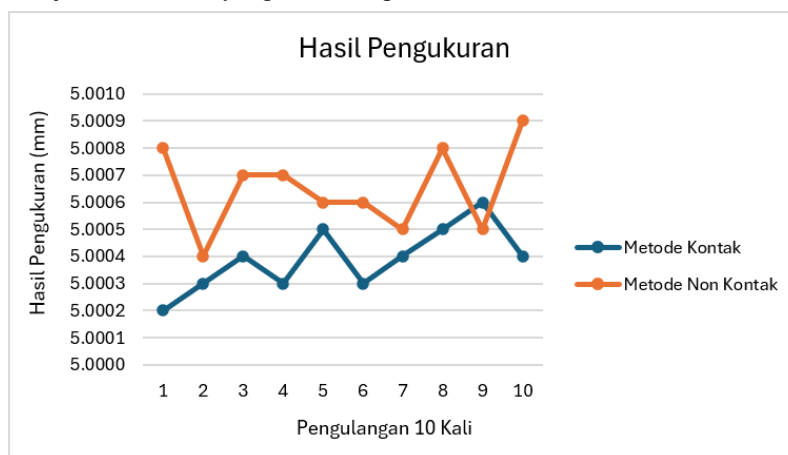
Bab ini menyajikan data hasil pengukuran block gauge 5 mm yang diperoleh dari metode kontak menggunakan CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series dan metode non-kontak menggunakan Keyence LM-1000, dilanjutkan dengan perhitungan parameter statistik berupa mean, mean error (ME), standar deviasi, dan repeatability,

Pengukuran dilakukan terhadap block gauge dengan ukuran nominal 5 mm sebagai nilai referensi ($x_{ref} = 5,0000$ mm), Setiap sistem pengukuran diuji sebanyak sepuluh kali pengulangan. Data hasil pengukuran metode kontak dan non-kontak disajikan pada Tabel 4

Tabel Hasil pengukuran		
Spec Block gauge : 5.0000 MM		
No	Hasil pengukuran Metode Kontak	Hasil pengukuran Metode Non Kontak
1	5.0002	5.0008
2	5.0003	5.0004
3	5.0004	5.0007
4	5.0003	5.0007
5	5.0005	5.0006
6	5.0003	5.0006
7	5.0004	5.0005
8	5.0005	5.0008
9	5.0006	5.0005
10	5.0004	5.0009
Mean	5.00039	5.00055
Mean Error	0.00039	0.00055
Standar Deviasi (Repeatability)	0.00012	0.00018

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Metode Kontak dan Non-Kontak

Data metode Non-kontak (Keyence LM-1000) berada di atas garis referensi dengan deviasi yang relatif lebih besar, sedangkan data metode kontak (CMM Mitutoyo) berada lebih dekat dengan garis referensi dan menunjukkan sebaran yang lebih sempit.



Gambar 1: Sebaran Hasil Pengukuran Metode Kontak dan Non-Kontak terhadap Nilai Referensi

Analisis statistik dilakukan terhadap data hasil pengukuran untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan presisi (repeatability) dari masing-masing metode pengukuran. Parameter yang dihitung meliputi mean, mean error, standar deviasi, dan repeatability, dengan n menyatakan jumlah pengulangan ($n = 10$).

Parameter	Metode Kontak (CMM Mitutoyo)	Metode Non-Kontak (Keyence LM-1000)
Mean (mm)	5.00039	5.00055
Mean Error / ME (mm)	0.00039	0.00055
Standar Deviasi (mm)	0.00012	0.00018

Tabel 5. Ringkasan Hasil Perhitungan Mean, Mean Error, Standar Deviasi, dan Repeatability

Berdasarkan Tabel, metode kontak (CMM) menghasilkan mean error sebesar 5000.39 μm , sedangkan metode non-kontak (Keyence LM-1000) menghasilkan mean error sebesar 5000.55 μm terhadap nilai referensi block gauge 5 mm. Nilai mutlak mean error CMM yang lebih kecil menunjukkan bahwa metode kontak memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode non-kontak pada pengujian ini

4. Kesimpulan

Tingkat presisi (repeatability) kedua metode dibandingkan dari nilai standar deviasi dan repeatability ($\pm 3\sigma$) pada Tabel 5. Metode kontak menghasilkan standar deviasi dan repeatability $0.12 \mu\text{m}$, sedangkan metode non-kontak menghasilkan standar deviasi dan repeatability $0.18 \mu\text{m}$. Nilai repeatability CMM yang lebih kecil menunjukkan bahwa metode kontak menghasilkan pengukuran yang lebih konsisten (presisi lebih tinggi) dibandingkan metode non-kontak pada pengujian ini.

Selain akurasi dan repeatability, perbedaan prinsip kerja kedua metode turut memengaruhi hasil yang diperoleh. Metode kontak melalui probe fisik memberikan hasil yang lebih stabil karena titik ukur bersentuhan langsung dengan permukaan benda, sedangkan metode non-kontak berbasis optik lebih rentan terhadap variasi kondisi pencahayaan, pantulan permukaan objek ukur

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa metode kontak (CMM Mitutoyo CRYSTA-Plus M Series) memberikan tingkat akurasi dan presisi yang lebih baik dibandingkan metode non-kontak (Keyence LM-1000) pada pengukuran block gauge 5 mm ini

Dari kedua alat ukur yang telah di uji memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, berikut kelebihan dan kekurangannya :

METODE KONTAK (CMM Mitutoyo Crystal Plus)

KEUNGGULAN

- Pengukuran lebih akurat dibandingkan dengan Keyence LM-1000
- Mampu mengukur fitur geometri yang lebih kompleks, karena probe dapat menjangkau bagian yang sulit di ukur dibandingkan dengan kamera optic (Keyence LM-1000)
- Untuk hasil pengukuran tidak terlalu dipengaruhi kondisi permukaan, seperti dari pantulan Cahaya

KEKURANGAN

- Pengukuran yang lebih lama dibandingkan dengan LM-1000
- Beresiko merusak benda kerja yang rapuh karena probe harus menyentuh permukaan benda
- Kurang efisien untuk pengukuran benda secara massal, karena benda harus di ukur satu persatu (tidak otomatis)
- Membutuhkan operator terlatih, karena pengoperasian alat ukur jauh lebih rumit dibandingkan dengan Keyence LM-1000
-

METODE NON-KONTAK (Keyence LM-1000)

KEUNGGULAN

- Pengukuran jauh lebih cepat dibandingkan dengan CMM untuk benda yang sederhana
- Sangat cocok untuk pengukuran benda rapuh yang tidak boleh bersentuhan langsung
- Cocok untuk pengukuran dengan skala banyak, dikarenakan dapat mengukur beberapa benda sekaligus
- Mudah di operasikan, Karena untuk pengukuran sudah otomatis

KEKURANGAN

- Akurasi lebih rendah dibandingkan dengan CMM
- Pencahayaan dan debu berpengaruh pada hasil pengukuran

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mitutoyo Corporation, *CRYSTA-Plus M Series Coordinate Measuring Machine: Technical Specifications*, Kawasaki, Japan, Mitutoyo Corp., 2020.
- [2] Keyence Corporation, *LM Series High-Accuracy Image Dimension Measurement System (LM-1000): User Manual and Specifications*, Osaka, Japan, Keyence Corp., 2021.
- [3] International Organization for Standardization, *ISO 3650: Geometrical Product Specifications (GPS) — Length Standards — Gauge Blocks*, Geneva: ISO, 1998.
- [4] Haitjema & Leach — *Dimensional Metrology* (Buku, CRC Press, 2025)
- [5] Zhao et al. — *Review of Optical Metrology Techniques* (Micromachines, 2025)
- [6] Stępień, Świdorski & Makiela — *Importance of Measurement Uncertainty during Gauge Block Calibration* (Metrology & Measurement Systems, 2025)
- [7] Urban et al. — *Influence of CMM Scanning Speed on Measurement Accuracy* (Manuf. Tech., 2020)
- [8] Dumitrache et al. — *Uncertainty Evaluation of CMM and Optical 3D Scanning* (Metrology, 2026)
- [9] K. Stępień, J. Świdorski, and W. Makiela, "The Importance of Measurement Uncertainty during the Gauge Block Calibration," *Metrology and Measurement Systems*, 2025.
- [10] B. Guha, S. Moore, and J. M. Huyghe, "Application and validation of machine vision inspection for efficient in-process monitoring of complex biomechanical device manufacturing," *Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 70, p. 72, 2023.
- [11] D. Flack, *CMM Measurement Good Practice Guide No. 42*, 2nd ed. National Physical Laboratory (NPL), UK, 2014.
- [12] J. Urban et al., "Influence of CMM Scanning Speed on Measurement Accuracy," *Manufacturing Technology*, 2020.
- [13] I.-A. Dumitrache et al., "Uncertainty Evaluation of CMM and Optical 3D Scanning in Centrifugal Rotor Inspection," *Metrology* (MDPI), vol. 6, no. 1, 2026.