

Analisis Ketidakpastian Pengukuran Dimensi Roda Gigi Lurus dengan Alat Ukur Profile Projector

Ulikaryani

Politeknik Negeri Cilacap

Hamid Abdillah

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Hety Dwi Hastuti

Politeknik Negeri Cilacap

Korespondensi penulis: ulikaryani@pnc.ac.id

Abstract. *An analysis of the uncertainty value of measuring spur gear dimensions using a profile projector has been carried out. Dimensions of spur gears measured are pitch diameter, root diameter and outside diameter. The manufacture of 3 samples of spur gears was first made with a shape milling machine based on the initial technical data that had been determined. Then measurements were made with a profile projector measuring instrument for the three measuring dimensions, the best repeated measurement average was found in the root diameter measurement for the PJ01 sample of 32.4053 mm with a standard deviation of 0.0077 mm. The uncertainty method used is statistically and applies only to a series of observations. Determination of the uncertainty value is done by performing repeated measurements five times on the same sample. This method refers to ISO GUM with type A evaluation. The uncertainty value obtained for the best measurement is 0.0034 mm with an expanded uncertainty of 0.0068 mm with a 95% confidence level.*

Keywords: *uncertainty measurement, profile projector, spur gear*

Abstrak. Analisis terhadap nilai ketidakpastian pengukuran dimensi roda gigi lurus dengan menggunakan alat ukur profile projector telah dilakukan. Dimensi roda gigi lurus yang diukur adalah pitch diameter, root diameter dan outside diameter. Pembuatan sebanyak 3 sampel roda gigi lurus terlebih dahulu dibuat dengan mesin frais bentuk berdasarkan data teknis awal yang telah ditemukan. Kemudian dilakukan pengukuran dengan alat ukur profile projector untuk ketiga dimensi ukur, didapat rata-rata pengukuran berulang terbaik ada pada pengukuran root diameter untuk sampel PJ01 sebesar 32,4053 mm dengan standar deviasi 0,0077 mm. Metode ketidakpastian yang digunakan adalah dengan cara statistik dan berlaku hanya untuk sebarang observasi. Penentuan nilai ketidakpastian dilakukan dengan cara melakukan pengukuran berulang sebanyak lima kali terhadap sampel yang sama. Metode ini mengacu kepada ISO GUM dengan evaluasi tipe A. Nilai ketidakpastian yang didapat untuk pengukuran terbaik adalah 0,0034 mm dengan expanded uncertainty sebesar 0,0068 mm dengan tingkat kepercayaan 95%.

Kata kunci: ketidakpastian pengukuran, proyektor bentuk, roda gigi lurus

LATAR BELAKANG

Roda gigi adalah komponen penting dalam transmisi daya robotika otomatis dan kendaraan transportasi. Peningkatan permintaan akan roda gigi presisi tinggi untuk pengurangan kecepatan yang digunakan dalam robot industri dan kendaraan listrik dengan efisiensi tinggi, serta pemeriksaan profil roda gigi dan tingkat kualitas yang akurat di lokasi, sangat penting dalam proses produksi roda gigi. Selain itu resolusi yang diperlukan untuk pemeriksaan profil roda gigi berkualitas tinggi berada dalam kisaran beberapa micrometer (Chen & Chen, 2019).

Kelebihan sistem transmisi roda gigi diantaranya yaitu daya yang besar dan putaran tinggi dapat diteruskan oleh roda gigi, konstruksinya ringkas dengan dimensi yang relatif kecil, efisiensi tinggi, tahan lama, serta dapat beroperasi dengan halus dan tenang (Rahdiyanta, 2010). Pada dasarnya pemeriksaan untuk semua jenis roda gigi adalah sama yaitu lebih menitikberatkan pada pemeriksaan bentuk fisik dari roda gigi dan bentuk dari giginya, kemudian dilanjutkan pada pemeriksaan elemen-elemen yang lain. Kesalahan dari bentuk profil gigi dan jarak antar gigi sebenarnya dapat terjadi karena berbagai macam factor dan sulit dikontrol. Namun pengukuran atau pengecekan kembali dimensi gigi merupakan salah satu cara yang efektif dan penting saat dilakukan penyetulan, maupun pengontrolan jalannya proses supaya dihasilkan roda gigi dengan kualitas seperti yang dikehendaki (Soetopo & Renggani, 2018).

Proses pengukuran bertujuan untuk melakukan pemeriksaan atau kualitas dari karakteristik produk baik secara fisik dan material untuk selanjutnya dibandingkan dengan standar yang ditetapkan. Pengukuran obyek yang berbentuk kompleks dengan alat ukur konvensional secara langsung tentunya memiliki keterbatasan. Berkembangnya teknologi dibidang industri membuat proses pengukuran saat ini dapat dilakukan dengan metode menembakkan sinar laser, menggunakan sensor dan pemindaian objek tiga dimensi (Sofyandi et al., 2022).

Dimensi roda gigi lurus yang tidak sesuai dengan ukuran yang ditentukan akan berdampak pada perakitan atau pemasangan roda gigi dengan pinionnya. Akan terjadi slip ataupun gesekan yang akan membuat kerja dari system transmisi tidak optimal. Oleh karenanya perlu dilakukan pemeriksaan kembali ukuran dari tiap dimensi ukur

dari roda gigi agar sesuai dengan ukuran dan toleransi dimensi yang ditetapkan. Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan alat ukur profile projector yang memiliki tingkat resolusi cukup tinggi yaitu 0,0001 mm.

KAJIAN TEORITIS

1.1. Roda Gigi Lurus

Roda gigi adalah roda gigi silindris bergigi yang digunakan untuk mentransmisikan gerak dan daya dari sebuah poros berputar ke poros berputar yang lain. Kualitas roda gigi adalah ketelitian yang bersifat spesifik untuk sebuah roda gigi yang meliputi keragaman indeksi, kesejajaran gigi, profil gigi, jari-jari akar, dan keragaman gabungan total. Dalam perancangan roda gigi, dipertimbangkan bahan-bahan pembentuk dengan berbagai keragaman dan sifatnya seperti ketetapan perancangan mekanis, ketahanan dan kekuatan terhadap cacat muka, selain itu dipertimbangkan pula kemampuan produksi roda gigi, persiapan bakal roda gigi, pembentukan gigi-gigi roda gigi, perakitan roda gigi ke mesin, berat, tampilan, ketahanan terhadap korosi, kebisingan dan biaya (Rochman, 2017).

1.2. Profile Projector

Profile Projector adalah alat ukur optik yang memperbesar fitur permukaan benda kerja untuk memungkinkan pengukuran pada skala linier atau melingkar. Alat ukur ini juga disebut sebagai komparator optic, karena dimensi dapat diukur langsung di layer atau dibandingkan dengan referensi standar pada perbesaran yang sesuai. Profile projector biasanya digunakan untuk mengukur profil, dimensi, dan sudut benda kerja, dimana banyak dilakukan dalam bidang elektronik, semi-konduktor, dan industry mekanik. Profile projector umumnya digunakan sebagai peralatan inspeksi dasar dibanyak pabrik dan labortaorium. Keakuratan profile projector sangat penting, karena mempengaruhi kualitas finishing dan keandalan produk secara langsung (Yi, 2016).



Gambar 1.1 Alat ukur profile projector

Profile Projector juga dikenal sebagai komparator optik yang dapat mengukur benda-benda berukuran kecil. Proyektor memperbesar profil specimen kemudian menampilkannya pada layer proyeksi internal. Layar proyeksi ini menampilkan profil specimen dan diperbesar untuk memudahkan penghitungan pengukuran linier. Garis tepi untuk memeriksa specimen dapat sejajar dengan kotak di layer. Pengukuran sederhana kemudian dapat dilakukan untuk jarak ke titik lain. Cahaya yang digunakan menggunakan cahaya diaskopik yaitu pencahayaan dari bagian belakang. Jenis iluminasi ini juga disebut iluminasi yang ditransmisikan ke specimen dan cahaya dapat tembus melewatinya. Jika benda uji tidak tembus cahaya, maka akan terbentuk profile benda uji. Pengukuran sampel dapat dilakukan pada layar proyeksi. Alat ini juga memiliki iluminasi episkopik yang cahayanya bersinar dari atas specimen, hal ini berguna dalam menampilkan area internal yang mungkin perlu diukur (Badri et al., 2018).

Profile projector bekerja secara optis dan mekanis. Dimana prinsip kerja optis adalah dengan menggunakan lensa dan proyektor serta cahaya yang keduanya di fokuskan pada benda ukur. Sedangkan, prinsip kerja mekanik yaitu dengan menggunakan kereta luncur (motor servo) yang dapat menggerakkan benda ukur pada meja gerak (Badri et al., 2018).

Profile projector pada lantai produksi, pada umumnya digunakan untuk mengukur (Syam, 2017):

- a. Inspeksi cutting tool, sekrup, dan roda gigi (gear)
- b. Pengukuran titik tengah suatu lingkaran pada suatu komponen

- c. Pengukuran pada suatu fitur dengan bentuk yang kompleks, seperti fitur dengan bentuk involute atau cycloidal
- d. Pengukuran dengan tingkat keausan cutting tool dengan cara mengkomparasi antara gambar cutting tool yang diproyeksikan dengan gambar teknik cutting tool tersebut pada kondisi nominalnya, sehingga deviasi dari gambar teknik nominanya merupakan tingkat keausan dari cutting tool tersebut..

1.3. Ketidakpastian (uncertainty) pengukuran dimensi roda gigi

Ketidakpastian sebagai ukuran reliabilitas hasil pengukuran pertama kali dicetuskan oleh International Organization for Standardization (ISO) dan beberapa organisasi lainnya dalam “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)”. Sejak itu, ketidakpastian telah menjadi lazim di berbagai bidang yang terlibat dalam metrologi (KINO, 2010).

Ketidakpastian pengukuran saat ini menjadi salah satu persyaratan yang harus dilakukan dan harus dilaporkan oleh laboratorium pengujian dan kalibrasi sesuai ISO 17025 dan ISO 15189. Berdasarkan standar tersebut, laboratorium diwajibkan mempunyai dan menerapkan prosedur untuk mengetahui estimasi ketidakpastian dari setiap pengukuran. Estimasi ketidakpastian yang diperoleh harus dalam batas wajar (reasonable) dan didasarkan pada pengetahuan terhadap prosedur kerja dan harus menggunakan data-data yang diperoleh dari pengukuran sebelumnya serta metode validasi data (Liu, 2008)(Kristiantoro et al., 2016).

Sumber-sumber ketidakpastian harus diidentifikasi secara individual sebelum menentukan ketidakpastian pengukuran secara menyeluruh. Ketidakpastian yang bersumber dari individual akan melalui 2 tipe evaluasi yaitu evaluasi tipe A dan evaluasi tipe B. Istilah Tipe A dan Tipe B digunakan pada analisis ketidakpastian. Penggunaan ini berasal dari GUM, dimana Evaluasi ketidakpastian TIPE A adalah metode evaluasi ketidakpastian dengan analisis statistic dari serangkaian pengamatan. Sedangkan, Evaluasi ketidakpastian TIPE B adalah metode evaluasi ketidakpastian dengan cara selain analisis statistic dari serangkaian pengamatan (Green & Gardiner, 2017).

Dalam studi ini, ketidakpastian beberapa dimensi dari roda gigi lurus yang diukur dengan profile projector dianalisis.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di dua tempat yaitu untuk pembuatan roda gigi lurus menggunakan mesin frais bentuk dilakukan di workshop pemesinan PNC dan untuk pemeriksaan dimensi roda gigi lurus dengan alat ukur profile projector dilakukan di ruang Laboratorium Metrologi PNC.

Beberapa tahapan harus dilakukan sebelum pemeriksaan dan pengukuran kembali dimensi roda gigi lurus menggunakan profile projector. Terlebih dahulu dilakukan penghitungan modul dan jumlah gigi sebagai input data awal. Kemudian dilakukan pengukuran dimensi roda gigi lurus dengan profile projector.

- A. Penghitungan dimensi sampel roda gigi lurus berdasarkan modul pisau dan jumlah gigi yang telah ditetapkan.
- B. Pengukuran dimensi roda gigi lurus menggunakan profile projector.

Adapun detail tahapan-tahapan proses pengambilan data sebagai berikut:

1. Pengumpulan data teknis roda gigi lurus yang akan dibuat berupa : jumlah gigi, modul pisau dan diameter tusuk.

Data teknis awal 3 buah sampel roda gigi lurus yang akan dibuat dan diukur Kembali, yaitu:

- a. Sampel PJ01, dengan modul pisau 3, jumlah gigi 14 dan pitch diameter 42 mm.
 - b. Sampel PJ02, dengan modul pisau 3, jumlah gigi 15 dan pitch diameter 45 mm.
 - c. Sampel PJ03, dengan modul pisau 2, jumlah gigi 23 dan pitch diameter 46 mm.
2. Pembuatan roda gigilurus dengan mesin frais bentuk berdasarkan data teknis awal.
 3. Pengukuran kembali dimensi roda gigi lurus menggunakan profile projector dengan pengukuran berulang.

4. Penghitungan nilai ketidakpastian dari pengukuran berulang dengan profile projector terhadap setiap sampel roda gigi lurus.

Untuk menentukan nilai ketidakpastian digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

- A. Menghitung rata-rata :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

- B. Menghitung standar deviasi :

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

- C. Menghitung nilai ketidakpastian :

$$U_c = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Keterangan :

σ = standar deviasi

n = jumlah data atau banyaknya pengukuran

x_i = data ke-i atau pengukuran ke-i

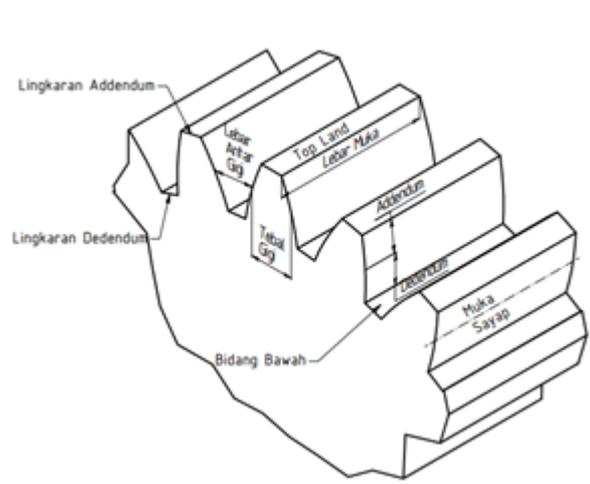
\bar{x} = nilai rata-rata pengukuran

U_c = nilai ketidakpastian pengukuran

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.4. Hasil Pengukuran dimensi roda gigi lurus dengan Profile Projector

Pemeriksaan dan pengukuran berulang dimensi roda gigi lurus hasil pembentukan dengan mesin frais bentuk dilakukan dengan menggunakan profile projector. Berikut adalah gambar nomenklatur dari roda gigi lurus.

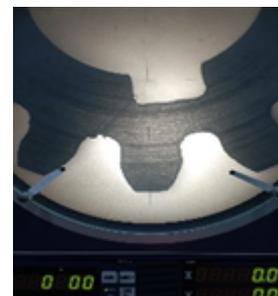


Gambar 3.1 Bagian-bagian dari roda gigi lurus

Pemeriksaan ukuran dimensi roda gigi lurus dengan menggunakan alat ukur profile projector telah dilakukan secara berulang dengan pengulangan pengukuran sebanyak 5 kali untuk setiap sampel. Berikut gambar pengukuran roda gigi lurus yang dilakukan:



Gambar 3.2 Sampel roda gigi lurus



Gambar 3.3 Pemfokusan sampel roda gigi lurus pada profile projector



Gambar 3.4 *Setting* titik ukur dimensi roda gigi lurus Gambar 3.5 Pengukuran dimensi roda gigi lurus

Berikut hasil pemeriksaan dimensi roda gigi lurus menggunakan profile projector tipe PJ-A3000:

Tabel 3.1 Pemeriksaan ukuran sampel PJ01

No	Dimensi Roda Gigi yang diperiksa	Hasil Ukur ke-1 (mm)	Hasil Ukur ke-2 (mm)	Hasil Ukur ke-3 (mm)	Hasil Ukur ke-4 (mm)	Hasil Ukur ke-5 (mm)
1	Module	3	3	3	2	2
2	Jumlah Gigi	14	14	14	14	14
3	Pitch Diameter	41,6061	41,1101	41,2001	41,1342	41,1744
4	Root Diameter	32,4085	32,4172	32,4000	32,3981	32,4028
5	Outside Diameter	50,7093	50,7661	50,6285	50,7114	50,7852

Tabel 3.2 Pemeriksaan ukuran sampel PJ02

No	Dimensi Roda Gigi yang diperiksa	Hasil Ukur ke-1 (mm)	Hasil Ukur ke-2 (mm)	Hasil Ukur ke-3 (mm)	Hasil Ukur ke-4 (mm)	Hasil Ukur ke-5 (mm)
1	Module	3	3	3	3	3
2	Jumlah Gigi	15	15	15	15	15
3	Pitch Diameter	43,5395	43,4428	43,7321	43,4579	43,5389
4	Root Diameter	31,7065	31,7561	32,7098	32,7270	31,2391
5	Outside Diameter	50,6512	48,9341	50,7022	48,9665	48,9751

Tabel 3.3 Pemeriksaan ukuran sampel PJ03

No	Dimensi Roda Gigi yang diperiksa	Hasil Ukur ke-1 (mm)	Hasil Ukur ke-2 (mm)	Hasil Ukur ke-3 (mm)	Hasil Ukur ke-4 (mm)	Hasil Ukur ke-5 (mm)
1	Module	2	2	2	2	2
2	Jumlah Gigi	23	23	23	23	23
3	Pitch Diameter	45,0500	45,1561	43,5395	43,0628	43,0594
4	Root Diameter	40,9519	40,7065	41,1661	41,0098	41,0230
5	Outside Diameter	50,1010	50,0293	50,0178	50,1018	50,0096

1.5. Pembahasan

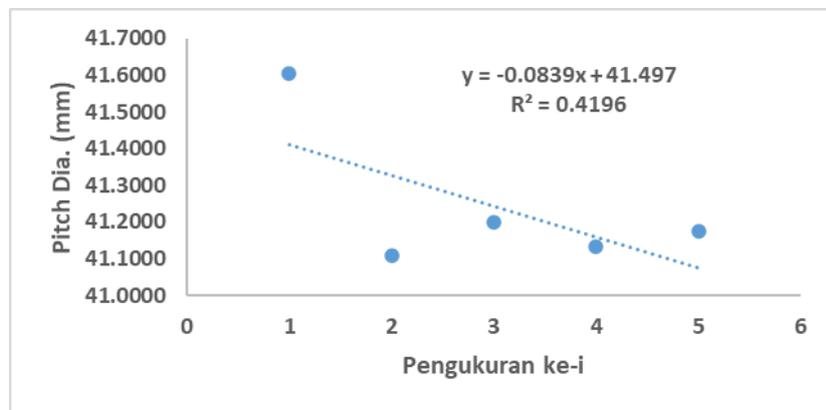
Data-data pemeriksaan yang diperoleh dari hasil pengukuran dimensi roda gigi lurus diatas kemudian dilakukan penghitungan nilai rata-rata, standar deviasi dan nilai akhir ketidakpastian untuk setiap sampel roda gigi lurus tersebut.

A. Hasil Penghitungan Ketidakpastian Dimensi sampel PJ01

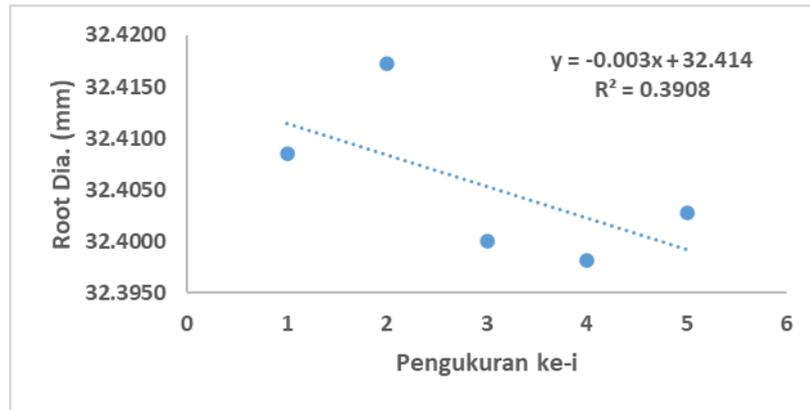
Berikut adalah tabel hasil perhitungan dari ketidakpastian setiap dimensi ukur yang telah ditetapkan beserta dengan grafik standar deviasi dari setiap pengukuran untuk sampel PJ01.

Tabel 3.4 Ketidakpastian pengukuran dimensi sampel PJ01

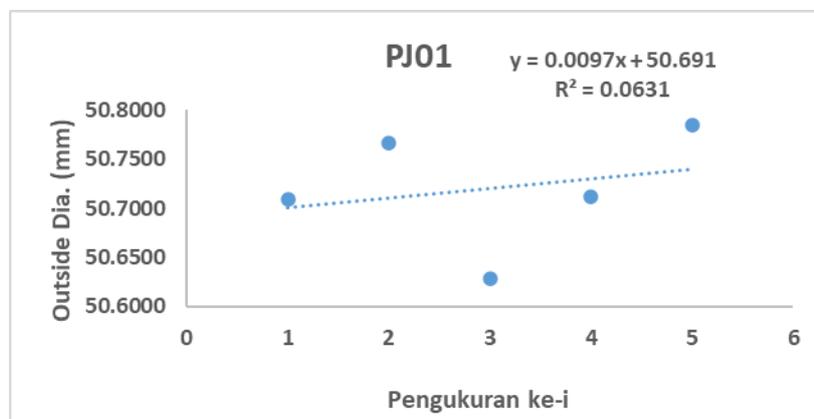
Uncertainty	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})^2$	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	Uc	U95
Pitch Diameter (mm)	41,2450	0,1679	0,2049	0,0916	0,1832
Root Diameter (mm)	32,4053	0,0002	0,0077	0,0034	0,0068
Outside Diameter (mm)	50,7201	0,0149	0,0611	0,0273	0,0546



Gambar 3.1 Grafik standar deviasi pitch diameter sampel PJ01



Gambar 3.2 Grafik standar deviasi root diameter sampel PJ01



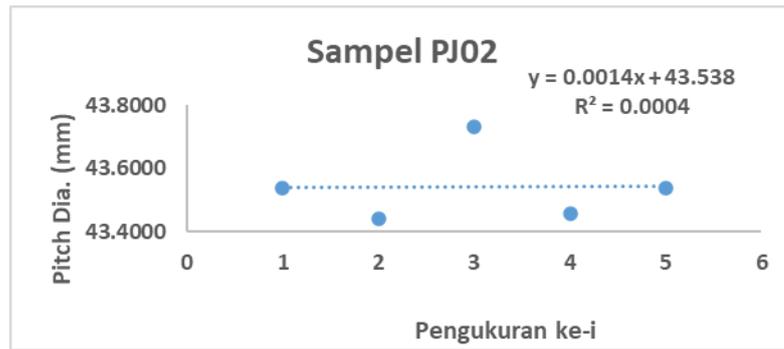
Gambar 3.3 Grafik standar deviasi outside diameter sampel PJ01

B Hasil Penghitungan Ketidakpastian Dimensi sampel PJ02

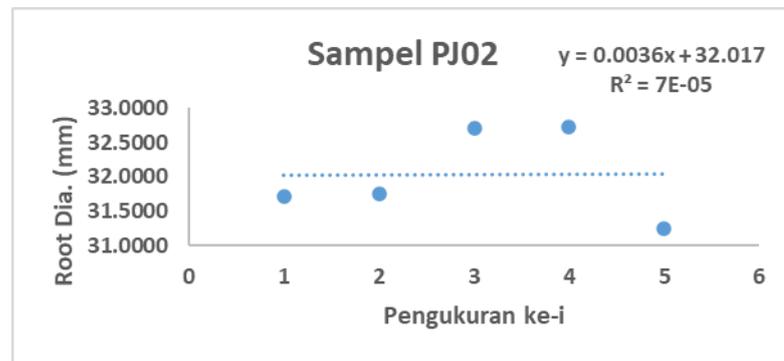
Berikut adalah tabel hasil perhitungan dari ketidakpastian setiap dimensi ukur yang telah ditetapkan beserta dengan grafik standar deviasi dari setiap pengukuran untuk sampel PJ02.

Tabel 3.4 Ketidakpastian pengukuran dimensi sampel PJ02

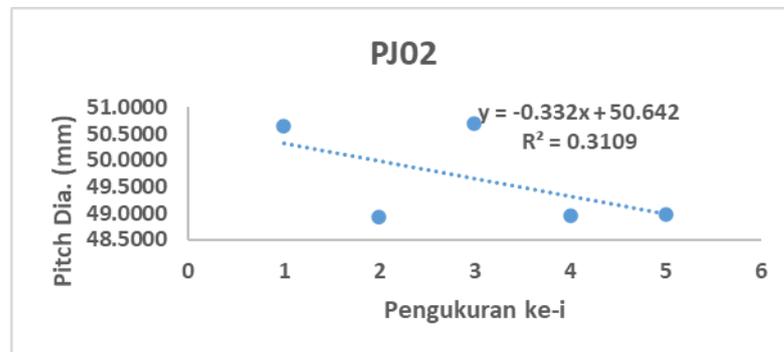
Uncertainty	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})^2$	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	Uc	$U95$
Pitch Diameter (mm)	43,5422	0,0531	0,1152	0,0515	0,103
Root Diameter (mm)	32,0277	1,7531	0,6620	0,2961	0,5922
Outside Diameter (mm)	49,6458	3,5446	0,9414	0,4210	0,842



Gambar 3.4 Grafik standar deviasi pitch diameter sampel PJ01



Gambar 3.5 Grafik standar deviasi *root* diameter sampel PJ02



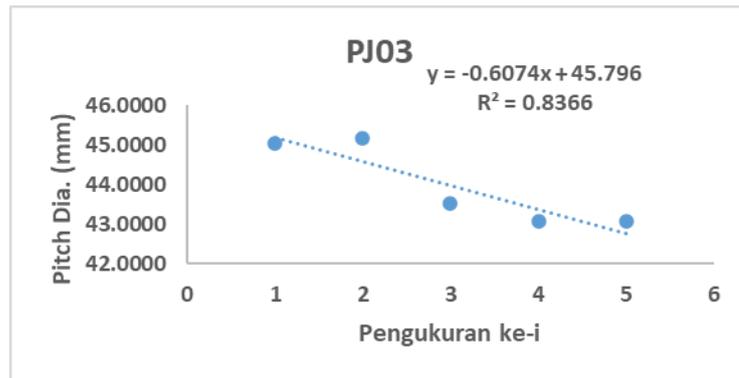
Gambar 3.6 Grafik standar deviasi *outside* diameter sampel PJ02

C. Hasil Penghitungan Ketidakpastian Dimensi sampel PJ03

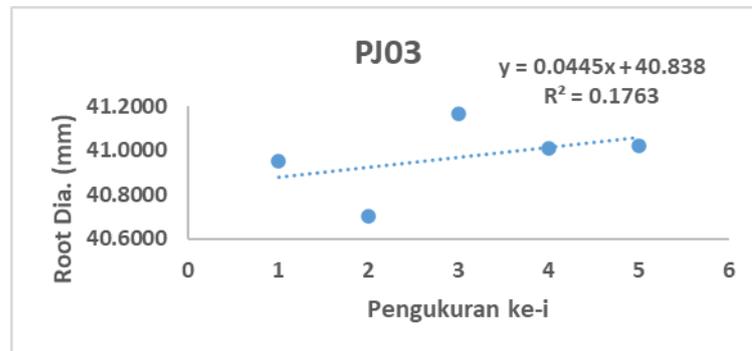
Berikut adalah tabel hasil perhitungan dari ketidakpastian setiap dimensi ukur yang telah ditetapkan beserta dengan grafik standar deviasi dari setiap pengukuran untuk sampel PJ03.

Tabel 3.4 Ketidakpastian pengukuran dimensi sampel PJ03

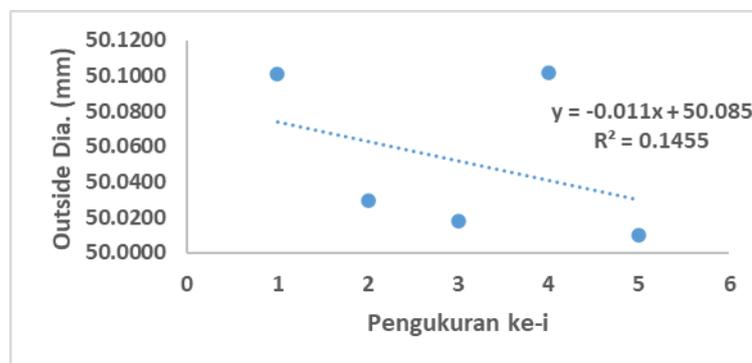
Uncertainty	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})^2$	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	Uc	U95
Pitch Diameter (mm)	43,9736	4,4107	1,0501	0,4696	0,9392
Root Diameter (mm)	40,9715	0,1126	0,1678	0,0750	0,15
Outside Diameter (mm)	50,0519	0,0084	0,0457	0,0204	0,0408



Gambar 3.7 Grafik standar deviasi *pitch* diameter sampel PJ03



Gambar 3.8 Grafik standar deviasi root diameter sampel PJ03



Gambar 3.9 Grafik standar deviasi outside diameter sampel PJ03

Berdasarkan hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran untuk sampel PJ01 diperoleh pengukuran terbaik pada pengukuran root diameter atau diameter kaki dengan ketidakpastian standar sebesar 0,0034 mm dan ketidakpastian yang diperluas sebesar 0,0068 mm dengan tingkat kepercayaan 95%. Roda gigi dengan kode sampel PJ02 diperoleh ketidakpastian standar sebesar 0,2961 mm dan ketidakpastian yang diperluas sebesar 0,5922 mm dengan tingkat kepercayaan 95% pada pengukuran diameter kaki. Sedangkan, pengukuran terbaik untuk sampel PJ03 diperoleh pada pengukuran dimensi outside diameter atau diameter luar roda gigi dengan ketidakpastian standar sebesar 0,0204 mm dan ketidakpastian yang diperluas sebesar 0,0408 mm dengan tingkat kepercayaan 95%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengukuran dimensi roda gigi lurus menggunakan profile projector PJA3000 dengan resolusi 0,0001 mm yang dilakukan secara berulang didapat ketidakpastian pengukuran minimal terdapat pada pengukuran sampel PJ01 untuk pengukuran root diameter yaitu dengan rata-rata pengukuran sebesar 32,4053 mm dengan standar deviasi 0,0077. Sehingga, ketidakpastian standar (Standard Uncertainty) untuk pengukuran tersebut diperoleh sebesar 0,0034 mm, kemudian diperoleh pula ketidakpastian yang diperluas (Expanded Uncertainty) dengan tingkat kepercayaan 95% sebesar 0,0068 mm. Nilai tersebut masih dibawah dari batas penyimpangan toleransi dimensi yang diizinkan. Sehingga pengukuran atau pemeriksaan kembali ukuran dimensi menggunakan profile projector layak dilakukan,

DAFTAR REFERENSI

- Badri, M., Arief, D. S., Solih, A. M., Ayunita, D., & Muflihana, A. (2018). Sieving Machine Calibration Using a Profile Projector with Standard Method ASTM E-11 2004. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace - Science and Engineering*, 57(July), 1–4. <http://isomase.org/Journals/index.php/jomase/article/view/25>
- Chen, Y. C., & Chen, J. Y. (2019). Optical inspection system for gear tooth surfaces using a projection moiré method. *Sensors (Switzerland)*, 19(6). <https://doi.org/10.3390/s19061450>
- Green, P., & Gardiner, T. (2017). *Guide to Uncertainty in Measurement & its Nomenclature*. November 2017, 1–32.
- KINO, H. (2010). 21310 Evaluation of uncertainty of length measurement by a profile projector. *The Proceedings of Conference of Kanto Branch*, 2010.16, 459–460. <https://doi.org/10.1299/jsmekanto.2010.16.459>
- Kristiantoro, T., Idayanti, N., Sudrajat, N., Septiani, A., Mulyadi, D., & -, D. (2016). Ketidakpastian Pengukuran pada Karakteristik Material Magnet Permanen dengan Alat Ukur Permagraph. *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.14203/jet.v16.1-6>
- Liu, Y. (2008). How to Generate Uncertain Measures. *Proceedings of Tenth National Youth Conference on Information and Management Sciences*.
- Rahdiyanta, D. (2010). *Pengefraisan Roda Gigi Lurus dan Rack*. FT, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rochman, T. (2017). Pemilihan Rancangan Roda Gigi Berdasarkan Karakteristik Material dengan Metode Electre. *PERFORMA : Media Ilmiah Teknik Industri*, 16(1), 15–25. <https://doi.org/10.20961/performa.16.1.12744>
- Soetopo, A. A., & Renggani, A. (2018). Analisis Dimensi Tebal Gigi pada Roda Gigi Lurus Modul 2 dengan $Z = 27$ dan $Z = 29$ Hasil Proses Hobbing terhadap Standar ISO No . 1328. *Rekayasa Dan Aplikasi Teknik Mesin Di Industri*, 1328, 21–22.
- Sofyandi, M. R., Kurniawan, E., & Wicaksono, R. A. (2022). Rancang Bangun 3D Scanner Sebagai 3D Metrologi Dengan Metode Fotogrametri Rentang Dekat. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, 3(1), 56–61.
- Syam, W. P. (2017). *Metrologi Manufaktur Pengukuran geometri dan analisis ketidakpastian*.
- Yi, T. C. (2016). Uncertainty Evaluation of Profile Projector Calibration. *WS Proceedings*, 37. <https://doi.org/https://doi.org/10.51843/wsproceedings.2016.37>