



**PEMILIHAN METODE PENGUKURAN POROS  
UNTUK PENGEMBANGAN MATERI PEMBELAJARAN PRAKTIK  
METROLOGI DI JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK MESIN FT UNY**

**Oleh :  
Dr. Th. Sukardi**

**Dibiayai oleh Dana DIPA BLU Universitas Negeri Yogyakarta Tahun 2010  
Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dosen  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta Tahun 2010  
Nomor Kontrak 1141.21/H34.15/PL/2010**

---

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
TAHUN 2010**

**Pemilihan Metode Pengukuran Poros  
Untuk Pengembangan Materi Pembelajaran Praktik Metrologi  
di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT-UNY**

**Oleh: Th. Sukardi**

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang metode pengukuran poros yang akurat dan efek defleksinya paling kecil, yang nantinya didapatkan pedoman pengukuran atau angka tetapan yang dapat dipakai sebagai pedoman para mahasiswa pada waktu mengukur poros. Manfaat penelitian ini adalah untuk memperlancar pelaksanaan kuliah Praktek Metrologi Industri yaitu sebagai perbaikan metode pada proses pengukuran poros yang menggunakan sistim tumpuan pada Mata Kuliah Bidang Studi Metologi Industri.

Desain penelitian ini termasuk penelitian eksperimen laboratorium. Prosedur penelitian dilakukan dalam kondisi ruang tertentu dengan tingkat lingkungan yang mendukung baik temperature ruangan, cahaya penerangan maupun kebersihan ruangan. Sampel penelitian ini adalah sejumlah poros dari baja lunak dengan ukuran panjang 250 mm x Ø 25 mm diameter berjumlah 10 buah, serta poros ukuran panjang 350 mm x Ø 20 mm diamater, berjumlah 10 buah. Pelaksanaan penelitian di bengkel dan Labolatorium Metrologi Jurusan Pendidikan Mesin FT - U N Y. Data dikumpulkan dengan jalan observasi dan percobaan secara langsung terhadap masing-masing poros yang akan diukur. Dan data yang akan diamati dan dikumpulkan adalah data mengenai jarak tumpuan dan data defleksi yang terjadi. Data yang terkumpul melalui pengamatan dan pengukuran langsung dianalisa dengan cara deskriptif kuantitatif yaitu dengan menghitung rerata dan simpangan bakunya.

Hasil penelitian didapatkan bahwa untuk pengukuran poros yang relative pendek metode yang efektif digunakan agar tidak terjadi defleksi yang ekstrim adalah metode GB.Airy dengan jarak tumpuan 0,554 L. Untuk pengukuran poros yang relative panjang metode yang efektif digunakan agar tidak terjadi defleksi yang ekstrim adalah metode Ryder GH dengan jarak tumpuan  $L=1,24 d$ . Defleksi minimum untuk poros pendek dengan metode GB.Airy ( 0,554 L) yaitu +2  $\mu\text{m}$  di ujung kiri, - 4,8  $\mu\text{m}$  di tengah dan +1,6  $\mu\text{m}$  di ujung bagian kanan. Defleksi minimum untuk poros panjang dengan metode Ryder GH ( $L=1,24 d$ ) yaitu - 5  $\mu\text{m}$  di ujung kiri, - 6,6  $\mu\text{m}$  di tengah, dan - 5,2  $\mu\text{m}$  di ujung bagian kanan.

**Kata kunci: Tumpuan poros, defleksi poros, metrologi industri**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Dalam proses pemesinan banyak terlibat faktor-faktor yang mempengaruhi produk, faktor-faktor tersebut memungkinkan terjadinya variasi bentuk, ukuran, dan kehalusan. (Sudji Munadi, 1988, p. 336). Hal ini tentu akan mempengaruhi mutu dari produk yang dihasilkan. Salah satu langkah yang terpenting dalam proses permesinan, adalah proses pengukuran yang tepat. (Anderson & Tatro, 1975, p. 70). Interpretasi dari pengukuran aspek dimensi secara tepat dan teliti harus dimiliki oleh setiap individu yang terlibat dalam teknologi pemesinan. Makin baik kemampuan mengukur maka makin cepat pula ketrampilan dalam mengerjakan tugas atau job. (Ted Bush, 1989, p. 2).

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta dalam proses pembelajarannya baik yang menyangkut praktek bengkel maupun laboratorium selalu terkait dengan proses pengukuran. Untuk memperoleh ketrampilan dalam pengukuran tehnik maka diperlukan latihan yang berulang-ulang, karena dalam praktek bengkel atau praktik laboratorium alat ukur selalu digunakan sebagai alat pengontrol dimensi yang akan dicapai, untuk dibandingkan dengan besaran standart yang telah disepakati. Dan jika dalam melaksanakan pengukuran tidak sesuai dengan prosedur yang semestinya maka hasilnya justru akan menyesatkan bagi operator atau si pengukur itu sendiri maupun produk yang dihasilkan (misalnya pada pengukuran kelurusan poros hasil produk pemesinan). Untuk itu pada penelitian ini akan diungkap cara-cara atau metode yang benar dan yang paling tepat pada waktu proses pengukuran kelurusan poros.

## **B. Identifikasi Masalah**

Proses belajar mengajar (PBM) praktik Laboratorium Metrologi di Jurusan Mesin FT UNY menuntut banyak fasilitas dan prosedur yang cukup, terencana dan terstruktur. Dalam pelaksanaannya memerlukan kesungguhan dan komitmen yang benar-benar kompak baik di jajaran manajerial ataupun di tingkat operasional. Kenyataan di lapangan banyak kendala yang dihadapi untuk pelaksanaannya, antara lain:

1. Kurangnya fasilitas untuk pelaksanaan proses pembelajaran praktik Laboratorium Metrologi.
2. Fasilitas praktik banyak yang rusak, kurang terawat dan ketinggalan jaman.
3. Dana untuk pelaksanaan pembelajaran praktik masih sangat kurang.
4. Kompetensi dosen/instruktur masih kurang menguasai pada bidangnya.
5. Komitmen sumber daya manusia yang ada (dosen, instructor, teknisi, pengelola) masih kurang.
6. Proses pembelajaran praktik di Lab. Metrology dan pengelolaannya masih belum baik penanganannya.
7. Pengembangan metode pengukuran masih sangat terbatas dan tidak pernah dilakukan.
8. Struktur dan perangkat bantu kompetensi (*job sheet*, silabus, dlsb) belum dikembangkan.
9. Kesungguhan dan mental kerja mahasiswa yang kurang mendukung selama PBM praktik berlangsung.

## **C. Rumusan Masalah**

Dengan berpijak pada berbagai permasalahan tersebut, pada penelitian ini dibatasi pada pengembangan metode pengukuran yang dianggap paling baik untuk digunakan.

Pengembangan metode pengukuran yang akan diteliti dibatasi pada obyek pengukuran poros. Metode pengukuran poros dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu dengan jalan ditumpu dikedua ujungnya dengan menggunakan meja center, menggunakan blok v atau ditumpu dengan peralatan yang lainnya. Masing-masing dari cara-cara tersebut tentu saja mempunyai beberapa keuntungan maupun kelemahan, untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk membuktikannya.

Adapun masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah :

1. Jenis metode pengukuran poros seperti apa yang dapat menghasilkan akurasi data paling kecil simpangannya ?
2. Metode pengukuran seperti apa yang dapat menghasilkan defleksi minimum pada pengukuran poros ?

#### **D. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang metode pengukuran poros yang akurat dan efek defleksinya paling kecil, yang nantinya didapatkan pedoman pengukuran atau angka tetapan yang dapat dipakai sebagai pedoman para mahasiswa pada waktu mengukur poros.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah untuk memperlancar pelaksanaan kuliah Praktek Metrologi Industri yaitu sebagai perbaikan metode pada proses pengukuran poros yang menggunakan sistim tumpuan pada Mata Kuliah Bidang Studi Metrologi Industri.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

Telah dikemukakan bahwa salah satu faktor penting dalam praktek pemesinan adalah proses pengukuran dimensi. Pengukuran secara umum dapat dikatakan atau diartikan sebagai membandingkan sesuatu dengan besaran standart . (Taufik Rochim , 1980, p. 90). Dalam proses pengukuran selalu melibatkan faktor-faktor : operator (Si pengukur) ; alat ukur; benda ukur ; dan lingkungan (Sudji Munadi , 1988 , p. 90). Dengan demikian hal ini akan berakibat terjadinya penyimpangan hasil pengukuran yang pada akhirnya akan merendahkan mutu produk yang dihasilkan. Untuk mengurangi terjadinya penyimpangan tersebut maka semua aspek yang menyangkut pengukuran perlu diperiksa kebenaran prosedurnya maupun kebenaran yang menyangkut peralatan yang digunakan. (Enrick Norbert , 1977, p. 5).

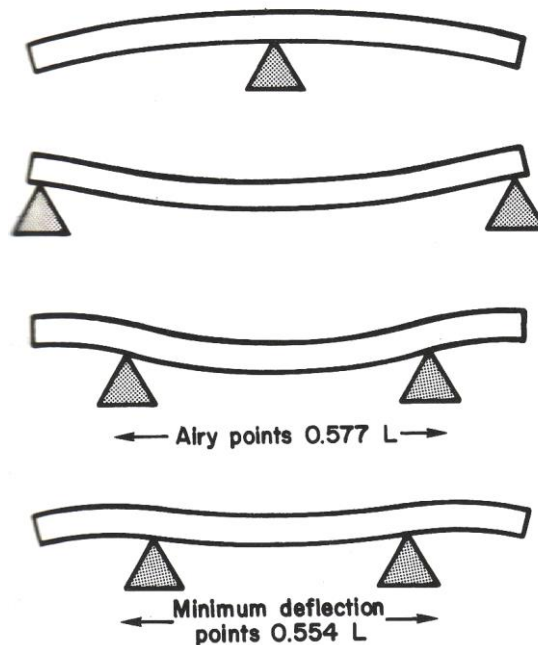
Demikian pula pada pengukuran kelurusan poros, prosedur harus dilaksanakan dengan cara yang benar, karena kalau tidak akan menghasilkan hasil yang menyedihkan. Metode pengukuran poros ada berbagai cara atau prosedur yaitu:

- a. Pengukuran poros dengan ditumpu dikedua ujungnya dengan menggunakan meja senter (meja yang khusus untuk mengukur poros).
- b. Pengukuran poros dengan ditumpu dikedua ujungnya dengan menggunakan Blok- V, ada dua jenis Blok-V yang sering digunakan yaitu Blok - V muka lebar dan Blok - V muka runcing.
- c. Pengukuran poros dengan tumpuan meja rata (*surface table*).

Ketiga metode tersebut mempunyai karakter penggunaan yang berbeda-beda, yang masing-masing mempunyai keunggulan sendiri-sendiri.

Salah satu prosedur pada pengukuran poros yang paling penting adalah jarak tumpuan dari poros itu sendiri, karena besar atau kecilnya jarak tumpuan akan mempengaruhi defleksi dari poros. Jika poros ditumpu di kedua ujungnya, maka defleksi di tengah poros akan besar, hal ini terjadi karena berat porosnya sendiri. Tetapi jika tumpuan digeser agak ke tengah, maka defleksi yang terjadi akan merata besarnya.

Menurut G.B. Airy (Galyer & Shotbolt, 1977,p.4-5) ada dua jarak tumpuan yang sering dipakai dalam penggunaan instrumen ukur jenis “*line standart*” dan “*end bars*” yaitu  $0,577 L$ , dan  $0,554 L$  (untuk *straight edge* atau pelurus), dimana  $L$  adalah panjang dari instrumen ukur. Untuk poros yang mempunyai kesamaan bentuk dengan instrumen ukur seperti yang dikemukakan oleh G.B.Airy, apakah dapat diberlakukan sama cara menumpunya ?



Gambar.1. Tumpuan menurut GB.Airy.

Demikian pula yang dikemukakan oleh Ryder GH (1983,p.166) bahwa pada prinsipnya tumpuan itu dapat dilakukan sebagai berikut :

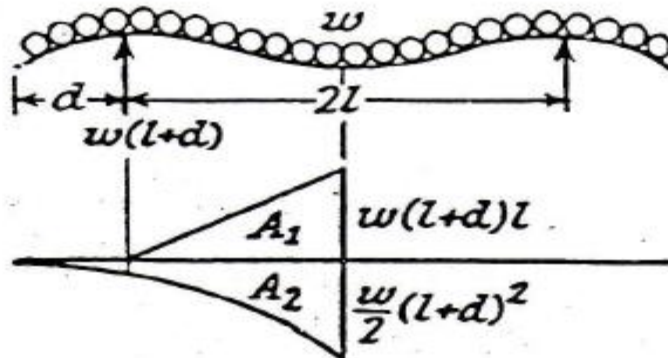
- a. Tumpuan simetris
- b. Tumpuan pada level yang sama.

Supaya defleksi ke bawah minimal dihitung sebagai berikut :

Reaksi pada tiap tumpuan =  $w (l + d)$

Defleksi minimal terjadi jika, defleksi di tengah = defleksi di pinggir.

Dengan demikian jarak tumpuan dari ujung yang disarankan oleh Ryder agar defleksi yang terjadi merata dan berharga minimum adalah,  $l = 1,24 d$  (dimana  $d$  adalah jarak yang diukur dari ujung poros).



Gambar.2. Tumpuan menurut Ryder GH.

Hal tersebut terjadi karena setiap variasi tumpuan dari posisi tersebut akan memperbesar defleksi baik pada ujung maupun ditengah. Selain itu faktor lain yang mempengaruhi defleksi adalah dari luas penampang poros, dan juga panjang dari poros itu sendiri.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Desain penelitian**

Desain penelitian ini termasuk penelitian eksperimen laboratorium, karena seting dan pelaksanaan eksperimen dilakukan di laboratorium yang memenuhi persyaratan pengukuran industri. Prosedur penelitian dilakukan dalam kondisi ruang tertentu dengan tingkat lingkungan yang mendukung baik temperature ruangan, cahaya penerangan maupun kebersihan ruangan.

#### **B. Sampel**

Sampel penelitian ini adalah sejumlah poros dari baja lunak dengan ukuran panjang 250 mm x 20 mm diameter berjumlah 10 buah, serta poros ukuran panjang 350 mm x 20 mm diameter, berjumlah 10 buah. Pelaksanaan penelitian di bengkel dan Labolatorium Metrologi Jurusan Pendidikan Mesin FT - Universitas Negeri Yogyakarta.

#### **C. Teknik Pengumpulan Data**

Data dikumpulkan dengan jalan observasi dan percobaan secara langsung terhadap masing-masing poros yang akan diukur. Dan data yang akan diamati dan dikumpulkan adalah data mengenai jarak tumpuan dan data defleksi yang terjadi.

#### **D. Definisi Operasional Variabel**

Sebagai vaiabel utama yang akan diteliti pada penelitian ini adalah Jarak Tumpuan Efektif, yaitu jarak tumpuan yang tidak akan mengakibatkan defleksi yang berlebihan (khususnya pada pengukuran poros) atau dengan kata lain defleksi yang terjadi agar merata baik di kedua ujungnya maupun ditengah-tengah, dan besar simpangannya minimum.

## E. Instrumen Penelitian

Sebagai instrumen dalam penelitian ini adalah sejumlah alat-alat ukur presisi yaitu :

1. Jam ukur merek Kunkel ketelitian 0,001mm.
2. Pelurus presisi (*straight edge*).
3. Meja rata merek Kunkel dari batu Granite Klas I.
4. Blok-V presisi, permukaan runcing.
5. Pemegang jam ukur (*stand dial*).
6. Blok ukur *grade 0*, isi 47, standart DIN 861, sebagai alat kalibrasi.
7. Mikrometer 25-50 mm, ketelitian 0,01 mm, merek Mitutoyo.
8. Jangka sorong 0 – 200 mm, ketelitian 0,02 mm, merek Mitutoyo.
9. Mistar baja 0 – 1000 mm, merek Mitutoyo.
10. Alat-alat bantu ukur lainnya, dan alat-alat pembersih.

Sebelum dipakai alat-alat ukur tersebut dikalibrasi terlebih dahulu untuk mengetahui kebenaran skala maupun ketelitian yang dimiliki, dengan menggunakan blok ukur (*Gage blocks*) yang mempunyai ketelitian *Grade 00*.

## F. Prosedur Pengukuran

1. Menyiapkan/memotong bahan sesuai ukuran. Ukuran 250 mm x  $\varnothing$  25 mm berjumlah 10 buah dan ukuran 350 mm x  $\varnothing$  25 mm berjumlah 10 buah.
2. Membubut dan menggerinda bahan untuk poros. Kekasaran permukaan mendekati N4. Pembubutan dilakukan dengan menggunakan Mesin Bubut Emco Maximat Super

- 12, dan penggerindaan dengan menggunakan Mesin Gerinda Merek HMT, yang kesemuanya dilakukan oleh satu orang Teknisi.
3. Mengkalibrasi peralatan yang akan dipakai, dalam hal ini jam ukur ketelitian 0,001 mm dengan blok ukur *grade* 00.
  4. Menentukan jenis tumpuan dan mengukur jarak tumpuan yang paling kecil defleksinya menurut prosedur GB.Airy yaitu dengan prinsip "*line standart*" 0,577 L, dan prinsip "*straight edge*" 0,554 L serta menurut Ryder GH yang berprinsip pada tumpuan simetris yaitu  $l = 1,24 d$ .

### **G. Kondisi-kondisi yang perlu dikendalikan dalam pengukuran**

Agar didapatkan data yang akurat dan tidak tercemar oleh perlakuan yang tidak diinginkan, ada beberapa kondisi yang perlu dikendalikan dalam penelitian ini yaitu :

1. Orang yang mengukur sama.
2. Sebelum ditumpu poros diletakkan diatas meja rata tanpa tumpuan selama  $\pm 15$  menit.
3. Pengukuran dilaksanakan setelah poros ditumpu selama 10 menit.
4. Suhu ukur dijaga tetap pada 27 derajat Celsius.
5. Setiap akan diukur poros selalu dibersihkan terlebih dahulu.
6. Temperature kerja ruangan dijaga kestabilannya.
7. Pencahayaan dijaga minimum mendekati 1000 lumen.

### **H. Teknik Analisis Data**

Data yang terkumpul melalui pengamatan dan pengukuran langsung dianalisa dengan cara deskriptif kuantitatif yaitu dengan menghitung rerata dan simpangan bakunya.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

Hasil pengamatan/percobaan dari pengukuran jarak tumpuan poros dalam rangka untuk mendapatkan metode pengukuran poros digambarkan seperti table berikut ini.

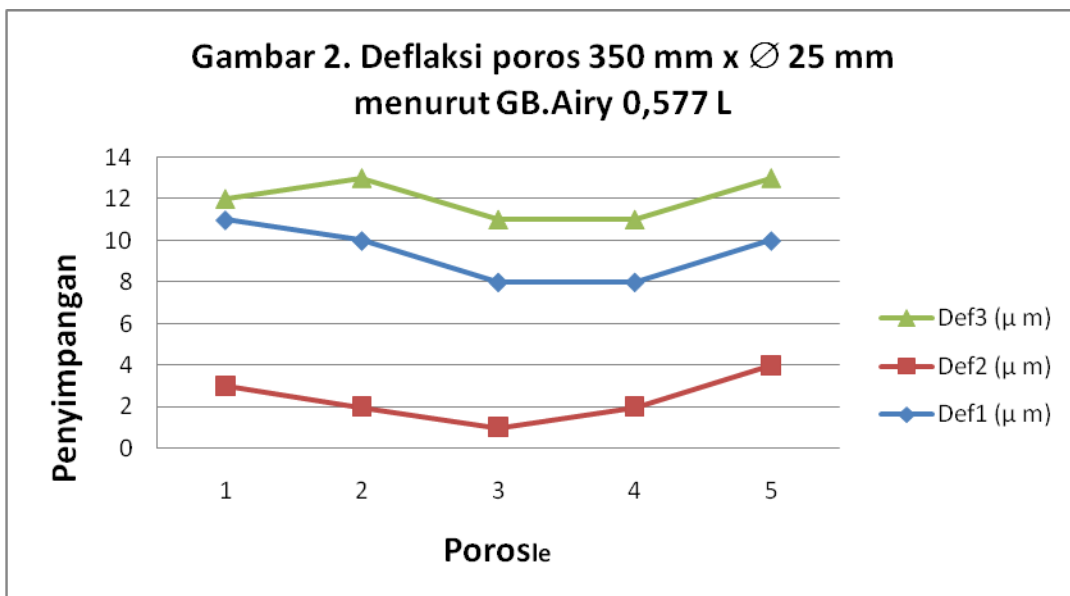
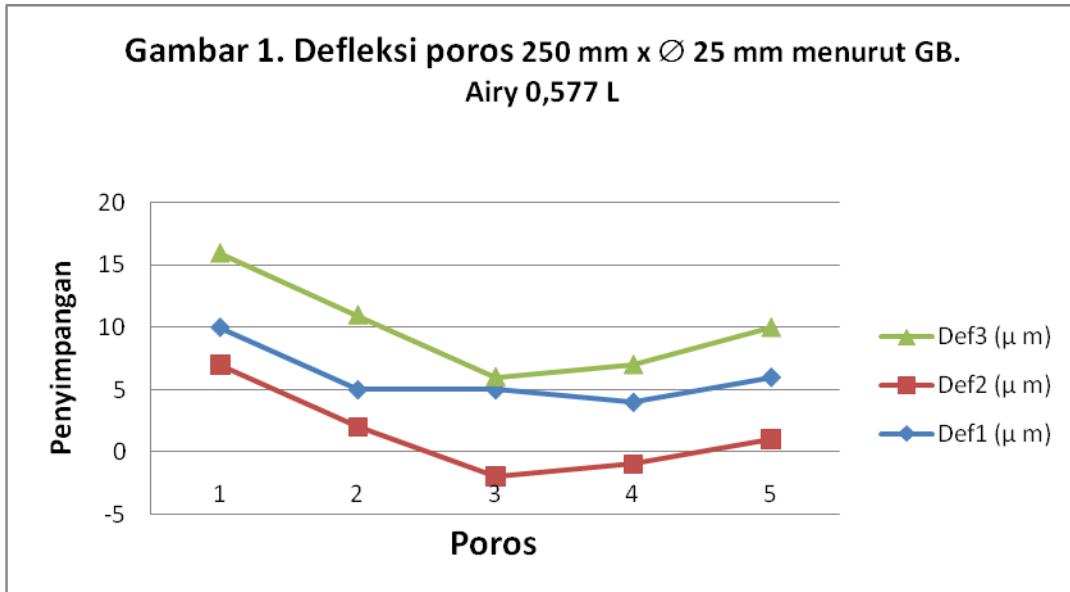
**Table 1. Data hasil pengukuran jarak tumpuan kelurusan poros.**

No	Jenis tumpuan	Poros	250 mm x Ø 25 mm			350 mm x Ø 25 mm		
			Def1 (µ m)	Def2 (µ m)	Def3 (µ m)	Def1 (µ m)	Def2 (µ m)	Def3 (µ m)
1	GB.Airy 0,577 L	1	+10	-3	+9	+11	-8	+9
		2	+5	-3	+9	+10	-8	+11
		3	+5	-7	+8	+8	-7	+10
		4	+4	-5	+8	+8	-6	+9
		5	+6	-5	+9	+10	-6	+9
		<b>Rerata</b>		<b>+6</b>	<b>-4,6</b>	<b>+8,6</b>	<b>+9,4</b>	<b>-7</b>
2	GB.Airy 0,554 L	1	+1	-5	+2	+2	-6	-2
		2	+2	-6	+1	+2	-9	+2
		3	+3	-4	+2	+2	-6	+2
		4	+2	-5	+2	+1	-4	+1
		5	+2	-4	+1	+2	-4	+3
		<b>Rerata</b>		<b>+2</b>	<b>-4,8</b>	<b>+1,6</b>	<b>+1,8</b>	<b>-5,8</b>
3	Ryder GH 1 = 1,24 d.	1	+4	-3	+5	-6	-9	-2
		2	+6	-5	+6	-6	-6	-4
		3	+6	-5	+5	-4	-6	-7
		4	+5	-6	+5	-4	-5	-7
		5	+5	-3	+4	-5	-7	-6
		<b>Rerata</b>		<b>+5,2</b>	<b>-4,4</b>	<b>+5</b>	<b>-5</b>	<b>-6,6</b>

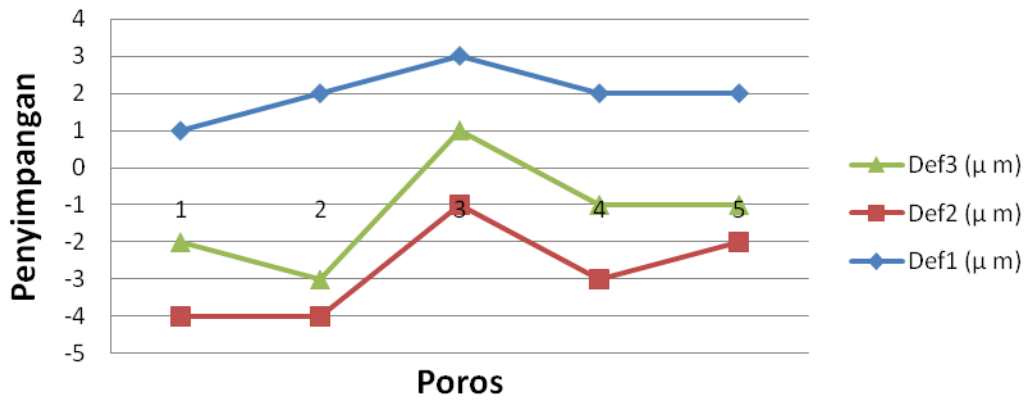
#### Keterangan:

1. Def 1 = defleksi 10 mm dari ujung sebelah kiri poros, dalam mm
2. Def 2 = defleksi di tengah poros, dalam mm
3. Def 3 = defleksi 10 mm dari ujung sebelah kanan poros, dalam mm

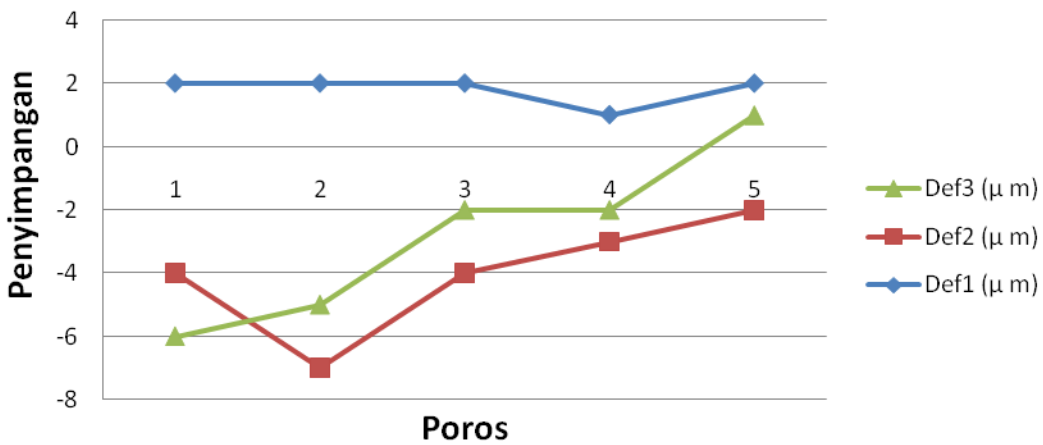
Hasil masing-masing metode pengukuran poros mempunyai penyimpangan yang berbeda-beda dan masing-masing mempunyai cirikhas yang berbeda-beda, untuk memperjelas dalam penentuan metode pengukuran poros yang baik berikut digambarkan secara grafis dari masing-masing acuan/metode pengukuran yang digunakan.

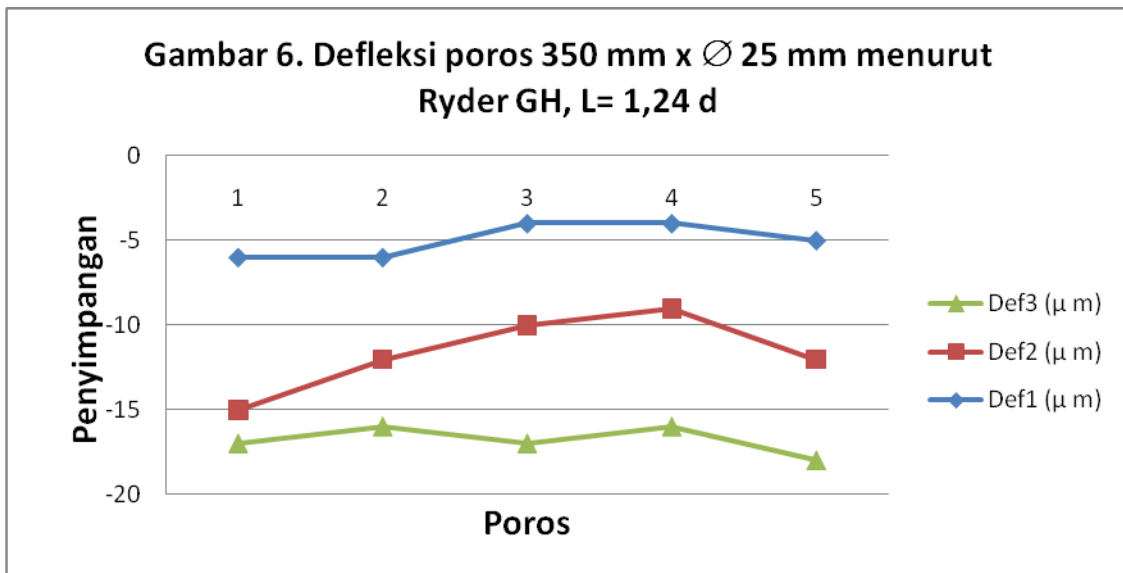
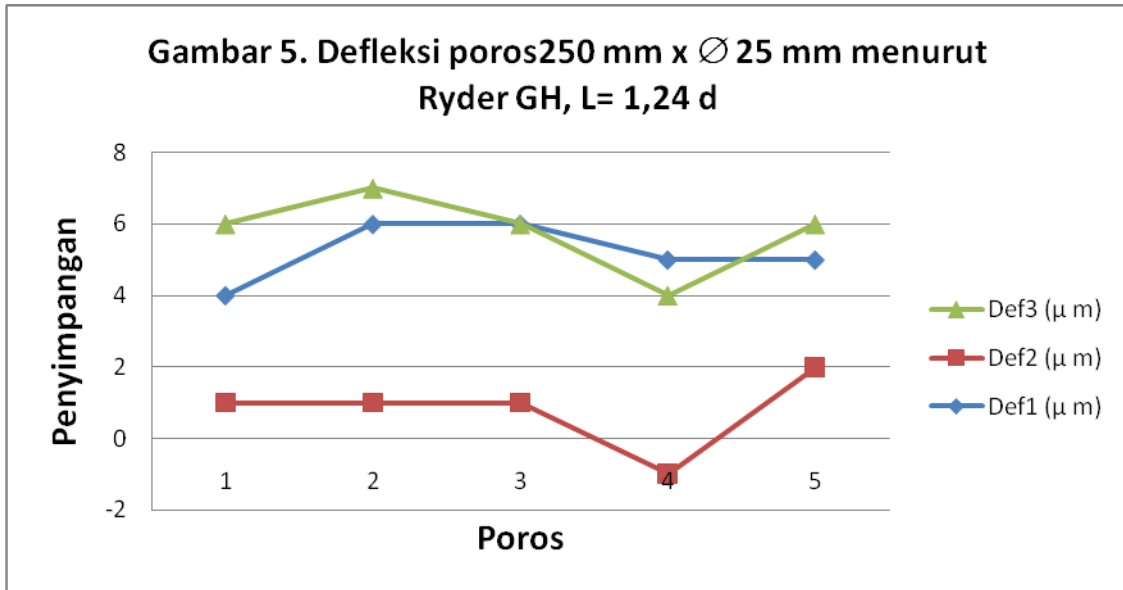


**Gambar 3. Defleksi poros 250 mm x  $\varnothing$  25 mm menurut GB.Airy 0,554 L**



**Gambar 4. Defleksi poros 350 mm x  $\varnothing$  25 mm menurut GB.Airy 0,554 L**





## B. Pembahasan

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa poros ukuran 250 mm x Ø25 mm dengan metode GB.Airy ( 0,577 L) didapatkan harga rerata penyimpangan +6 µm, - 4,6 µm dan +8,6 µm; metode GB.Airy (0,554 L) didapatkan harga rerata penyimpangan +2 µm, - 4,8 µm dan +1,6 µm; dan metode Ryder GH (L=1,24 d) didapat harga rerata penyimpangan +5,3 µm,

4,4  $\mu\text{m}$ , dan +5  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga metode tersebut terlihat yang defleksinya dapat terjadi agak mendekati merata adalah metodenya GB.Airy (0,554 L) yaitu +2  $\mu\text{m}$  di ujung kiri, - 4,8  $\mu\text{m}$  di tengah dan +1,6  $\mu\text{m}$  di ujung bagian kanan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa poros ukuran 350 mm x  $\varnothing$  25 mm dengan metode GB.Airy ( 0,577 L) didapatkan harga rerata penyimpangan +9,4  $\mu\text{m}$ , - 7  $\mu\text{m}$ , dan +9,6  $\mu\text{m}$ ; dengan metode GB.Airy (0,554 L) didapatkan harga rerata penyimpangan +1,8  $\mu\text{m}$ , - 5,8  $\mu\text{m}$ , dan +1,2  $\mu\text{m}$ ; sedangkan dengan metode Ryder GH (L=1,24 d) didapatkan harga rerata penyimpangan - 5  $\mu\text{m}$ , - 6,6  $\mu\text{m}$ , dan - 5,2  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga metode tersebut terlihat yang defleksinya terjadi mendekati merata adalah metodenya Ryder GH (L=1,24 d) yaitu - 5  $\mu\text{m}$  di ujung kiri, - 6,6  $\mu\text{m}$  di tengah, dan - 5,2  $\mu\text{m}$  di ujung bagian kanan.

Dengan demikian dari hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk poros yang pendek ukuran 250 mm x  $\varnothing$ 25 mm metode yang lebih efektif untuk digunakan dalam pengukuran poros sifatnya pendek adalah metode GB.Airy (0,554 L). sedangkan untuk poros yang ukurannya lebih panjang dalam hal ini 350 mm x  $\varnothing$  25 mm yang lebih efektif adalah metodenya Ryder GH (L=1,24 d).



## BAB V

### KESIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pemilihan metode dalam pengukuran poros sebagai sarana pengembangan pembelajaran praktik metrology dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk pengukuran poros yang relative pendek metode yang efektif digunakan agar tidak terjadi defleksi yang ekstrim adalah metode GB.Airy dengan jarak tumpuan 0,554 L. Untuk pengukuran poros yang relative panjang metode yang efektif digunakan agar tidak terjadi defleksi yang ekstrim adalah metode Ryder GH dengan jarak tumpuan  $L=1,24 d$ .
2. Defleksi minimum untuk poros pendek dengan metode GB.Airy ( 0,554 L) yaitu +2  $\mu\text{m}$  di ujung kiri, - 4,8  $\mu\text{m}$  di tengah dan +1,6  $\mu\text{m}$  di ujung bagian kanan. Defleksi minimum untuk poros panjang dengan metode Ryder GH ( $L=1,24 d$ ) yaitu - 5  $\mu\text{m}$  di ujung kiri, - 6,6  $\mu\text{m}$  di tengah, dan - 5,2  $\mu\text{m}$  di ujung bagian kanan.

#### B. Implikasi

Dengan diketahuinya hasil penelitian tersebut maka pelaksanaan pengukuran poros hendaknya perlu memperhatikan dan memperhitungkan jenis metode tumpuan yang akan digunakan.

#### C. Saran

Disarankan kepada para mahasiswa yang akan melakukan praktik metrology khususnya dalam pengukuran poros bahwa, mahasiswa perlu mencermati poros yang akan diukur, yaitu perlu menghitung dan mempertimbangkan poros tersebut guna menentukan metode tumpuan yang akan digunakan.

### Daftar Pustaka

- Galyer, Shotbolt. (1977). *Metrologi For Engineers*. London: Cassel.
- James Anderson, Tatro. (1975). *Shop Theory*. New York :Mc Graw Hill,Inc,USA.
- Nobert L. Enrich. (1977). *Quality Control and Reliability*. NewYork: Industrial Press,USA.
- Ryder.G.H.(1983). *Strength of Material*. Great Britain : Indira and Macmillan.
- Sudji Munadi. (1988). *Dasar-dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Dirjen Dikti Depdikbud.
- Taufik Rochim. (1980). *Teknik Pengukuran*. Jakarta: Dikmenjur Depdikbud Jakarta.
- Ted Busch. (1989). *Fundamental Of Dimension Metrology*. New York: Delmar Pub, Inc, USA.